



Carlos André Silveira Jorge

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

Estudo da Fiabilidade de *Rubber Tyred Gantry*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Doutor José António Mendonça Dias – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado

Vogais: Prof. Doutor José António Mendonça Dias

Prof. Doutor Filipe José Didelet Pereira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2011

Estudo da Fiabilidade de *Rubber Tyred Gantry*

© 2011 Carlos André Silveira Jorge

Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*À minha família pelo apoio
incondicional*

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero expressar os meus agradecimentos ao Professor Doutor José Mendonça Dias pelo seu auxílio e orientação no desenvolvimento deste projecto.

Em segundo lugar quero agradecer à Direcção da PSA Sines – Terminais de Contentores, S.A. por ter autorizado a realização do estágio curricular na organização. Deixo também uma palavra de reconhecimento a todos os colaboradores do Departamento de Engenharia, e em particular ao Eng. Rui Fernandes pela disponibilidade e apoio demonstrado ao longo do estágio e da realização deste trabalho académico.

Ao ser impossível expressar a importância que traduzem na minha vida, à minha mãe, avós, irmão, tios e primos dirijo um agradecimento especial pois foi graças ao seu apoio e motivação que consegui alcançar os meus objectivos.

Aos meus padrinhos, Gonçalo Silveira e Vanessa Silva, quero deixar expresso o meu maior agradecimento por todo o carinho, incentivo, amizade e apoio incondicional que sempre demonstraram.

Finalmente quero agradecer a todos os meus amigos e colegas que me apoiaram não só na elaboração deste projecto, mas ao longo de toda a minha vida pessoal, académica e profissional.

Resumo

Desempenhando um papel fundamental dentro de qualquer organização, a manutenção revela-se como um factor determinante no sucesso da mesma. Neste sentido, este projecto de manutenção portuária, focado mais na área da fiabilidade, teve como objectivo principal a modelação estatística de sistemas reparáveis, identificando os sistemas das gruas de parque, denominadas *Rubber Tyred Gantry* (RTG), que mais contribuem para falhas e consequente decréscimo da fiabilidade operacional dos equipamentos.

O desenvolvimento prático do estudo consistiu em avaliar de uma forma global e individual, utilizando processos estocásticos, a tendência das RTG em termos de fiabilidade. Posteriormente, analisaram-se os sistemas que mais colaboram no aumento da função de risco dos equipamentos, permitindo elaborar um plano de manutenção preventiva a realizar nos sistemas mais críticos, que engloba o período de intervenção e tarefas a executar.

De forma a complementar o estudo descreveram-se as falhas ocorridas em cada sistema, com o objectivo de entender a origem e base do plano de manutenção preventiva a realizar.

Palavras-Chave: Manutenção Portuária, Sistemas Reparáveis, Fiabilidade, Manutenção Centrada na Fiabilidade

Abstract

Representing a key role within any organization, maintenance reveals itself as a determining factor in an organization's success. The primary objective of this port maintenance project was the statistical modeling of repairable systems, and its focus on the area of reliability. The project identifies Rubber Tyred Gantry (RTG) cranes as the heaviest contributor towards most failures and consequent decrease of the operational reliability of equipment.

The practical development of the study was to evaluate the tendencies of RTG in terms of reliability (both in a global and in an individual manner), using stochastic processes. Afterwards, the systems most responsible in the increase of the hazard function on the RTG were analyzed, which allowed for the development of a preventive maintenance program for the most critical systems, integrating an intervention period and the tasks to be performed.

To further complement the study, each system's failures were described, with the goal of understanding their sources and reasoning for the preventive maintenance program.

Keywords: Port maintenance, repairable systems, reliability, reliability-centered maintenance

Índice de Matérias

Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	3
1.3 Metodologia	4
1.4 Organização da dissertação	5
 Capítulo 2	 7
Revisão bibliográfica	7
2.1 Manutenção	7
2.1.1 Evolução histórica da Manutenção	7
2.1.2 Gestão da Manutenção	8
2.1.3 Classificação da Manutenção	9
2.2 Fiabilidade: Estatística das falhas	11
2.2.1 Dados censurados	12
2.2.2 Análise estatística das falhas	13
2.3 <i>Reliability-Centered Maintenance</i>	16
2.4 Sistemas Reparáveis	17
2.4.1 Teste de <i>Laplace</i>	17
2.4.2 Processos de Poisson	18
2.5 Distribuição de <i>Weibull</i>	20
2.5.1 Função densidade de probabilidade	21
2.5.2 Função fiabilidade	22
2.5.3 Função de risco	22
 Capítulo 3	 25
Apresentação da empresa	25
3.1 PSA – Port of Singapore Authority	25
3.2 PSA Sines – Terminais de Contentores, S.A.	25
3.2.1 Localização geográfica	26
3.2.2 Projecto de expansão	27
3.2.3 Equipamentos de operação portuária	28
3.2.4 Modo operacional do Terminal	31
 Capítulo 4	 33
<i>Rubber Tyred Gantry</i>	33
4.1 Cabine	35
4.2 Carro de Trolley	36
4.2.1 ACM / Anti-sway	37
4.2.2 Energy Chain	38
4.2.3 Hoist	39
4.2.4 Quadro Eléctrico	40
4.2.5 Trolley	41
4.3 Gantry	42
4.4 Grupo Gerador	45

4.5	Headblock	45
4.6	Iluminação	46
4.7	Sala Eléctrica	47
4.8	Spreader	47
Capítulo 5		49
Análise estatística global das RTG da marca A		49
5.1	Análise das falhas de cada sistema	52
5.2	Análise individual das RTG	59
Capítulo 6		65
Análise estatística global das RTG da marca B		65
6.1	Análise das falhas de cada sistema	68
6.2	Análise individual das RTG	72
Capítulo 7		75
Vantagem de manutenção preventiva		75
Capítulo 8		81
Cálculo do período de manutenção preventiva		81
Capítulo 9		89
Conclusões		89
9.1	Conclusões gerais	89
9.2	Sugestões para trabalhos futuros	91
Bibliografia		93
Anexos / Apêndices		97

Índice de Figuras

Figura 1.1- Volume mundial de negócios de movimentação contentorizada (unidade: milhões de TEU).....	1
Figura 1.2- Importância crescente da manutenção	3
Figura 2.1 - Classificação de manutenção segundo a norma EN 13306:2001	10
Figura 2.2 - Fiabilidade sob perspectiva matemática.	11
Figura 2.3 - Dados censurados	13
Figura 3.1 - Carga do navio MSC JOANNA	25
Figura 3.2 - Vista aérea do Terminal XXI.....	26
Figura 3.3 - Dois <i>FEU</i> ou dois contentores de comprimento 40 pés.....	27
Figura 3.4 - <i>Layout</i> da PSA Sines	28
Figura 3.5 - As três <i>QC</i> em funcionamento na PSA Sines	29
Figura 3.6 - Uma das seis <i>RTG</i> presentes no Terminal.....	29
Figura 3.7 - Um dos dezasseis <i>PM</i> no Terminal.	30
Figura 3.8 - Um dos três <i>RS</i> presentes no Terminal.....	30
Figura 3.9 - Desembarque de um contentor no Terminal XXI.....	31
Figura 4.1- Sistemas e Subsistemas principais de uma <i>RTG</i>	34
Figura 4.2 - <i>Layout</i> de uma <i>RTG</i> da marca A.	34
Figura 4.3 – Interior da Cabine (a) e <i>Mastercontroller</i> (b).	35
Figura 4.4 - Painel do operador e <i>RDT</i> (a) e altifalante e rádio (b).....	36
Figura 4.5 - Sistema Anti-sway.	37
Figura 4.6 – Compensação <i>Trim</i> (a) e eixo representativo das compensações <i>Trim</i> , <i>List</i> e <i>Skew</i> (b).	38
Figura 4.7 - <i>Energy chain</i>	39
Figura 4.8 - Sistema Hoist.	40
Figura 4.9 - Quadro Eléctrico.	41
Figura 4.10 - Sistema Trolley da <i>RTG</i> da marca B.	42
Figura 4.11 – <i>Bogies</i>	43
Figura 4.12 - Movimento de deslocação longitudinal "gantry".....	43
Figura 4.13 - Movimento de deslocação transversal "cross".....	44
Figura 4.14 - Movimento de rotação da <i>RTG</i>	44
Figura 4.15 - Cavilha de travamento encaixada na placa de engate.....	44
Figura 4.16 - <i>Turn Wheel</i>	45
Figura 4.17 - Gerador (a) e motor diesel (b).....	45

Figura 4.18 - Sistema Headblock.	46
Figura 4.19 - Projectores anexados às vigas principais.	46
Figura 4.20 - Sala Eléctrica.	47
Figura 4.21 – Spreader.	47
Figura 5.1 - Número acumulado de falhas das RTG da marca A em função do tempo de vida, no período 01/10/07 – 30/04/09.....	49
Figura 5.2 - Número acumulado de falhas das RTG da marca A em função do tempo de vida, no período 01/05/09 – 31/10/10.....	50
Figura 5.3 - Diagrama de Pareto - Número de Falhas.	51
Figura 5.4 - Diagrama de Pareto – Tempo Total de Paragem.	52
Figura 5.5 - Origem das falhas do Grupo Gerador.	53
Figura 5.6- Origem das falhas do Carro de Trolley.....	54
Figura 5.7 - Origem das falhas do Gantry.	56
Figura 5.8- <i>Locking pin</i> engatado no prato dos <i>bogies</i>	56
Figura 5.9 - Origem das falhas da Cabine.	57
Figura 5.10 - <i>Micro switch</i> de compensações (a) e Potenciómetro (b).	58
Figura 5.11- Padrão de falhas de cada uma das RTG da marca A.	59
Figura 5.12- Número acumulado de falhas da RTG01 ao longo do tempo de vida.	61
Figura 5.13 - Relação das falhas entre os diferentes períodos da RTG01.....	62
Figura 6.1 - Número acumulado de falhas das RTG da marca B em função do tempo de vida.	65
Figura 6.2 - Diagrama de Pareto - Número de falhas.....	67
Figura 6.3 - Diagrama de Pareto – Tempo Total de Paragem.	67
Figura 6.4 – Origem das falhas do Gantry.	68
Figura 6.5 – Origem das falhas do Grupo Gerador.	69
Figura 6.6 – Origem das falhas do Carro de Trolley.....	71
Figura 6.7 - Padrão de falhas de cada uma das RTG da marca A.	73
Figura 7.1 - Número de contentores movimentados pelas QC no terminal portuário....	76
Figura 7.2 - Número de contentores movimentados pelas RTG no terminal portuário.	76
Figura 8.1 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Grupo Gerador para as RTG da marca A e B. (Parte I).....	84
Figura 8.2 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Grupo Gerador para as RTG da marca A e B. (Parte II).	85
Figura 8.3 - Ajustamento, método não paramétrico - sistema Grupo Gerador	87
Figura 8.4- Função densidade de probabilidade – sistema Grupo Gerador.....	88

Índice de Quadros

Quadro 1.1 - Manutenção ao longo do tempo	2
Quadro 3.1 - Fases do projecto de expansão do Terminal de Contentores	27
Quadro 5.1 - Origem das falhas do Grupo Gerador	53
Quadro 5.2 - Origem das falhas do Carro de Trolley - Nível 1	54
Quadro 5.3 - Origem das falhas do Carro de Trolley – Nível 2	54
Quadro 5.4 - Origem das falhas da Cabine.....	57
Quadro 5.5 - Resultado do teste de Laplace para as RTG da marca A, MTBF e CMTBF	60
Quadro 6.1- Origem das falhas do Gantry.....	69
Quadro 6.2- Origem das falhas do Grupo Gerador	70
Quadro 6.3 - Origem das falhas do Carro de Trolley – Nível 1	71
Quadro 6.4 - Origem das falhas do Carro de Trolley - Nível 2.....	71
Quadro 6.5 - Resultado do teste de Laplace para as RTG da marca B, MTBF e CMTBF	73
Quadro 7.1 - Tempo acumulado de paragem das RTG da marca A.....	77
Quadro 7.2 - Tempo acumulado de paragem das RTG da marca B.....	77
Quadro 7.3- Resultado do teste de Laplace para os sistemas mais críticos das RTG, MTBF e CMTBF.....	79
Quadro 7.4 - MTBF esperado com a aplicação do programa de manutenção preventiva	79
Quadro 8.1 - Intervalo entre falhas do sistema Carro de Trolley das RTG da marca A. 82	
Quadro 8.2 - Intervalo entre falhas para os sistemas mais críticos de cada tipo de equipamentos.....	82
Quadro 8.3 - Características das falhas relativas a intervalos entre falhas até 10 dias, e respectivas acções de manutenção preventiva.....	83
Quadro 8.4 - Parâmetros do sistema Grupo Gerador.....	86
Quadro 8.5 - Distribuição de Weibull 90% - sistema Grupo Gerador	87
Quadro 8.6 - Periodicidade entre intervenções dos sistemas mais críticos das RTG.....	88

Acrónimos

CMTBF – *Cumulative Mean Time Between Failures*

FEU – *Forty feet Equivalent Unit*

GNL – Gás Natural Liquefeito

GTMP – Gamas de Trabalho de Manutenção Preventiva

MTBF – *Mean Time Between Failures*

\widehat{MTBF} – MTBF esperado após aplicação do programa de manutenção preventiva.

PLC – *Programmable Logic Controller*

PM – *Prime-Mover*

PPH – Processo de Poisson Homogéneo

PPNH – Processo de Poisson Não Homogéneo

QC – *Quay-Crane*

RCM – *Reliability-Centered Maintenance*

ROCOF – *Rate of Occurrence of Failures*

RS – *Reach staker*

RTG – *Rubber Tyred Gantry*

SR – Sistema Reparável

TEU – *Twenty Feet Equivalent Unit*

Simbologia

β – Parâmetro de forma

β^* – Parâmetro do modelo de Crow

$F(t)$ – Função distribuição cumulativa

$f(t)$ – Função densidade de probabilidade

$F(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função distribuição cumulativa de Weibull

$f(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função densidade de probabilidade de Weibull

$h(t)$ – Função de risco

$h(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função de risco de Weibull

λ – Taxa de falhas constante – Processo de Poisson Homogêneo

λ_0 – Taxa de falhas

λ^* – Parâmetro do modelo de Crow

n_f – Número de falhas

η – Parâmetro de escala ou vida característica

$R(t)$ – Função fiabilidade ou sobrevivência

$R(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função fiabilidade ou sobrevivência de Weibull

$\rho(\tau)$ – Taxa de falhas – Modelo de Crow

T – Tempo do período em estudo

t – Tempo desde a falha anterior

τ – Tempo de vida do sistema no momento da falha

\tilde{t} – Tempo de um intervalo censurado

t_0 – Parâmetro de localização ou vida mínima

z_0 – Estatística de Teste de Laplace

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

A globalização do comércio e consequente quebra nas barreiras comerciais tem estimulado o crescimento do negócio marítimo. Actualmente, grande parte da carga internacional é movimentada através de contentores. Recentemente, o crescimento da concorrência entre terminais de contentores, especialmente aqueles localizados na Europa e na Ásia, tem aumentado a pressão sobre os terminais para melhorar o serviço ao cliente (Ng, 2005).

Nos últimos anos, a utilização de contentores no transporte marítimo internacional aumentou drasticamente. A figura 1.1 demonstra o crescimento do volume mundial de negócios de movimentação de carga contentorizada. Desde 1985, movimentando 50 milhões de TEU – *twenty feet equivalent unit* (unidade equivalente a 20 pés, ou seja, um contentor com dimensões padronizadas e comprimento 20 pés), o volume mundial de movimentação de contentores atingiu os 350 milhões de TEU em 2004. É esperado um aumento contínuo nos próximos anos, especialmente entre a Ásia e Europa (Kim e Günther, 2007).

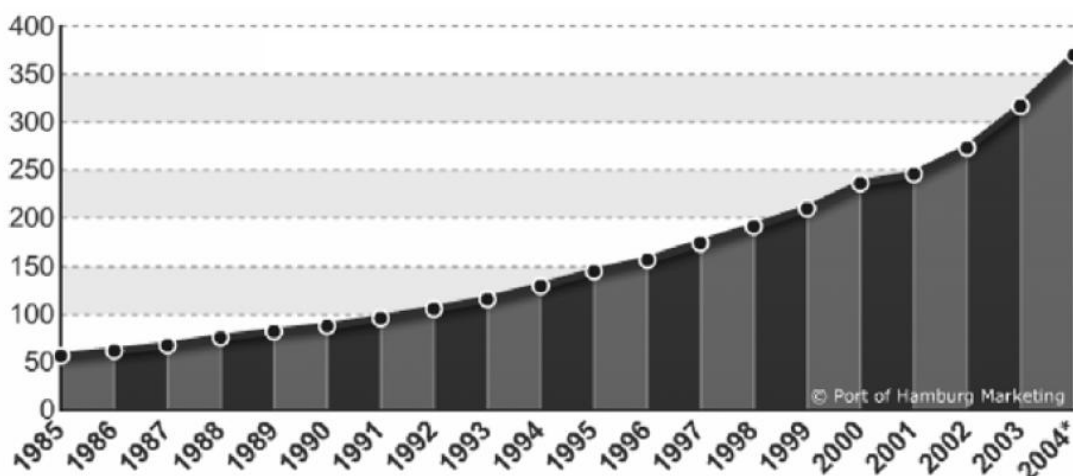


Figura 1.1- Volume mundial de negócios de movimentação contentorizada (unidade: milhões de TEU)
(Fonte: Kim e Günther (2007)).

Um terminal de contentores desempenha um papel importante nos negócios internacionais, servindo como uma interface multi-modal entre transportes marítimos e terrestres. As três funções básicas de um terminal são: (a) fornecer contentores aos destinatários e receber contentores dos remetentes, (b) embarcar ou desembarcar contentores dos navios, e (c) armazenar os contentores temporariamente até chegar o respectivo transporte (Zhang *et al.*, 2002).

Uma organização possui um grande número de sistemas técnicos que interagem entre si com um determinado objectivo. A manutenção contribui significativamente para esses objectivos. Na verdade, uma manutenção adequada não só contribui para manter baixo o custo do ciclo de vida do produto, como colabora positivamente para o desempenho global da organização (Waeynbergh e Pintelon, 2002).

O reconhecimento da manutenção como um factor potencial gerador de lucro é um desenvolvimento relativamente recente. A manutenção torna-se cada vez mais uma parte integrada no conceito de negócio da organização. Quanto ao futuro, existe uma tendência crescente para o *outsourcing* (parceria externa). O quadro 1.1 demonstra a evolução da manutenção numa perspectiva temporal (Waeynbergh e Pintelon, 2002).

Quadro 1.1 - Manutenção ao longo do tempo (Adaptado de: Waeyenbergh e Pintelon (2002)).

< 1950	1950 - 1975	> 1975	→ "2000"→
Factor humano (simples)	Mecanização (complexo)	Automatização (mais complexo)	Globalização (sem fronteiras)
Manutenção é "uma tarefa da produção"	Manutenção é "uma tarefa do departamento de manutenção"	Manutenção não é "uma função isolada".	Manutenção é uma "parceria interna e externa"
" <i>Mal necessário</i> "	" <i>Matéria técnica</i> "	" <i>Contribui para o lucro</i> "	" <i>Parceria</i> "

Existe um interesse crescente na manutenção como aspecto fundamental na economia das organizações, uma vez que aos problemas tradicionais associaram-se agora problemas de energia, conservação do meio ambiente, renovação dos equipamentos e instalações, fiabilidade, eficácia, optimização e qualidade dos processos industriais e valorização dos seus técnicos (Brito, 2003). A figura 1.2 demonstra a importância do crescimento da manutenção devido a factores externos.

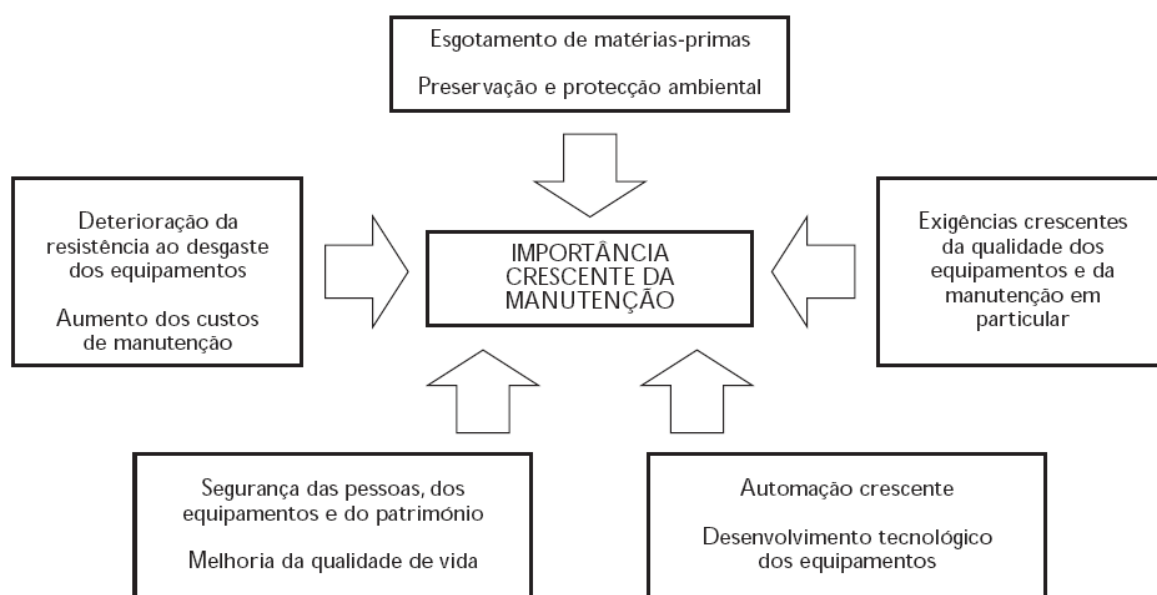


Figura 1.2- Importância crescente da manutenção (Fonte: Brito (2003)).

A crescente globalização implica que a concorrência entre mercados seja cada vez mais significativa. Com o aumento das actividades portuárias é fundamental que os equipamentos estejam sempre em boas condições de operacionalidade, uma vez que se trata de um serviço em que o tempo de movimentação dos contentores é um dos pontos-chave para o aumento de eficácia de um terminal portuário. Nesta perspectiva, é importante que as organizações possuam uma gestão da manutenção apropriada, de forma a diminuir o tempo de indisponibilidade dos equipamentos por falhas ou avarias.

1.2 Objectivos

A realização desta dissertação decorreu no Departamento de Engenharia da PSA Sines – Terminais de Contentores, S.A.

Este trabalho foi desenvolvido com duas finalidades principais. A primeira consta na conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial. Dado que este estudo foi realizado numa organização, o segundo objectivo consiste na aplicação dos conhecimentos académicos adquiridos, de forma a elaborar um trabalho de valor acrescentado para a respectiva organização, através de um estudo de fiabilidade e gestão da manutenção.

O objectivo central da dissertação compreende a realização de uma análise estatística das falhas de uma classe de equipamentos (correspondendo a sistemas reparáveis), através de métodos como o Diagrama de Pareto e Teste de *Laplace*. Desta forma, pretende-se identificar e avaliar os sistemas mais críticos do ponto de vista de fiabilidade e função de risco.

Este projecto consiste também no desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva eficaz, através de elaboração de Gamas de Trabalho de Manutenção Preventiva (GTMP), para os sistemas que apresentem um nível de criticidade elevado.

Deste modo pretende-se diminuir os tempos de paragem por falha, permitindo que os equipamentos se encontrem operacionais sempre que forem requisitados para desempenhar a sua função.

Dos equipamentos portuários presentes no terminal a escolha recaiu sobre as *Rubber Tyred Gantry* (RTG), uma vez que estes são considerados os *bottleneck* das operações portuárias.

1.3 Metodologia

A metodologia adoptada tem como base a combinação dos conceitos de fiabilidade e gestão da manutenção, de forma a atingir os objectivos propostos anteriormente.

O estudo prático consta na análise das seis RTG presentes no terminal portuário de Sines. Uma vez que dos seis equipamentos três são de um fabricante e três são de outro, optou-se por dividir em dois grupos. O primeiro consiste nas RTG da marca A, classificados como 01,02 e 03, e o segundo grupo corresponde aos equipamentos da marca B, classificados como 04,05 e 06.

O período em estudo das falhas não é igual para os dois grupos, uma vez que as RTG da marca B só entraram em funcionamento no terminal em Maio de 2009. Assim, o período em estudo para os equipamentos da marca A será desde 1 de Outubro de 2007 a 31 de Outubro de 2010, e para as RTG da marca B entre 1 de Maio de 2009 a 31 de Outubro de 2010.

A primeira fase consiste na análise do histórico de falhas dos equipamentos para os dois grupos. A análise dos dados inicia-se com o tratamento dos mesmos, procedendo-se à análise da evolução da taxa de falhas através do Teste de *Laplace*. Em

seguida, recorrendo a digramas de Pareto, tanto para o número de falhas como tempo total de paragem, são determinados os sistemas mais críticos para a função fiabilidade. Ainda nesta fase são referenciadas as origens das falhas de cada sistema, tal como é analisado cada equipamento individualmente. O *Microsoft Office Excel* foi a aplicação informática seleccionada para realizar o tratamento dos dados.

Na segunda fase pretende-se calcular o período de tempo entre intervenções de manutenção preventiva, de forma a garantir um determinado nível de fiabilidade dos equipamentos. Para o cálculo deste intervalo de tempo recorreu-se à aplicação informática *STATISTISCA*.

A terceira fase consiste em desenvolver um plano de manutenção preventiva, através da elaboração de GTMP, para os sistemas que demonstrem ser mais críticos no desempenho da sua função.

1.4 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em nove capítulos. No **Capítulo 1** é realizado o enquadramento geral, descrevendo a importância que o transporte e armazenamento portuário de carga contentorizada representa actualmente. No mesmo capítulo demonstra-se o interesse que a manutenção desempenha nas organizações. Ainda neste capítulo encontra-se os objectivos pretendidos com a realização desta dissertação, demonstrando também o modo como está organizado e apresentado o trabalho académico. A finalizar, têm-se descrita a metodologia utilizada no processo, tal como todos os métodos e ferramentas utilizados para obter os resultados pretendidos.

A revisão bibliográfica compõe o **Capítulo 2**, sendo esta a base teórica de todo o trabalho efectuado. Neste capítulo explica-se a importância e função da gestão da manutenção, tal como a caracterização e utilidade da fiabilidade e seus componentes práticos, relativamente a sistemas reparáveis. Finalmente caracteriza-se a distribuição de Weibull, uma vez que esta revela-se bastante útil no estudo da fiabilidade.

O **Capítulo 3** descreve a organização no qual foi realizada o estudo prático: PSA Sines – Terminais de Contentores, S.A. Para além de elucidar o seu funcionamento e modo operativo, é feita referência aos equipamentos presentes no terminal e futuro projecto de expansão.

Os equipamentos seleccionados para o estudo – RTG – são descritos pormenorizadamente no **Capítulo 4**, onde se encontram caracterizados os sistemas que os compõem. Em cada sistema é efectuada uma análise à sua composição e indicada a sua função.

No **Capítulo 5** é realizado uma análise estatística para os equipamentos da marca A, analisando e avaliando os sistemas que apresentam maior criticidade, demonstrando igualmente as origens das falhas em cada sistema. Neste capítulo é também efectuado uma análise individual de cada RTG.

O **Capítulo 6** consiste no mesmo estudo efectuado no capítulo 5, mas nos equipamentos da marca B.

O **Capítulo 7** indica as vantagens que se obtém com a implementação de um programa de manutenção preventiva, tendo como referência os tempos de paragem dos equipamentos.

O cálculo do período de manutenção preventiva é realizado no **capítulo 8**, de acordo com os sistemas mais críticos dos equipamentos de ambas as marcas. Neste mesmo capítulo é explicada a metodologia efectuada na elaboração das GTMP.

Finalizando a dissertação têm-se o **Capítulo 9** onde são descritas as conclusões do estudo efectuado, assim como são propostas algumas recomendações que visem uma perspectiva de melhoria contínua no âmbito da organização.

Os **Anexos** contêm as informações complementares ao estudo realizado, sob forma de representações esquemáticas, ilustrativas, entre outras.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

2.1 Manutenção

2.1.1 Evolução histórica da Manutenção

Desde os tempos primórdios que o ser humano sempre percepcionou a necessidade de manter os seus equipamentos. O início da engenharia de manutenção moderna encontra-se relacionado com o desenvolvimento do motor a vapor em 1769, no Reino Unido. A revista *Factory*, publicada pela primeira vez em 1882, nos Estados Unidos da América, desempenhou um papel essencial na evolução da manutenção. Em 1886 foi publicado um livro sobre manutenção em caminhos ferroviários (Dhillon, 2006).

Nos anos 50, grande parte das acções de manutenção eram de carácter correctivo. Desta forma, a manutenção era considerada um custo irritante e inevitável, que não podia ser gerida. Na década de 60, muitas organizações começaram a mudar a filosofia de manutenção para programas preventivos, após reconhecerem que as falhas nos equipamentos mecânicos encontravam-se directamente relacionadas com o tempo de utilização ou número de ciclos efectuados. Esta crença baseava-se no desgaste físico dos componentes ou características de fadiga relacionadas com o tempo de funcionamento. No momento verificou-se que as acções preventivas evitavam algumas falhas e permitiam poupanças a longo termo. A maior preocupação era determinar o período adequado para realizar a manutenção (Kobbacy e Murthy, 2008).

No final dos anos 70, início da década 80, os equipamentos tornaram-se mais complexos. Como resultado, o comportamento das falhas dos componentes individuais começaram a alterar as características de falhas dos equipamentos. Assim, como o modo de falhas não estava relacionado com a idade, as acções de manutenção preventiva eram limitadas na melhoria da fiabilidade dos equipamentos complexos. Deste modo começou a ser questionada a eficácia das acções de manutenção preventiva. Cresceu rapidamente uma preocupação sobre excesso de manutenção. Além disso, os benefícios da manutenção preventiva foram postos em causa, surgindo novas técnicas como a

manutenção preditiva. As acções de manutenção foram gradualmente alterando-se para uma perspectiva preditiva (inspecção baseado na condição). Naturalmente a manutenção preditiva era, e ainda é, limitada a todas as aplicações viáveis e economicamente interessantes. Esta técnica de manutenção era apenas utilizada em aplicações de alto risco como aviões ou centrais nucleares (Kobbacy e Murthy, 2008).

Nos finais da década de 80, início dos anos 90 observou-se uma nova “pegada” na história da manutenção com o aparecimento da engenharia simultânea ou *life cycle engineering*. A manutenção começou a desempenhar um papel fundamental na definição e requisitos de projectos, tornando-se parcialmente envolvida no desenvolvimento e selecção de equipamentos. Assim surgiu o conceito de manutenção proactiva, sob o princípio de que se deve actuar nas etapas iniciais do produto, evitando futuras consequências negativas. Como a função da manutenção começou a revelar-se bastante útil, as acções de manutenção proactiva começaram a desempenhar um papel predominante (Kobbacy e Murthy, 2008).

Devido a vários factores, ficou estabelecido que a manutenção deve estar interligada à estratégia de produção para o sucesso global da organização. É esperado que neste século os equipamentos se tornem mais viáveis e computadorizados, e consequentemente mais complexos. Para aumentar a eficácia das actividades de manutenção no século XXI deve-se focar e realçar a importância do *software* de manutenção, mantendo uma ligação com certas áreas como o factor humano, qualidade, segurança e aspectos financeiros. Novas metodologias e estratégias serão essenciais para explorar potenciais benefícios e transformá-los em rentabilidade (Dhillon, 2002).

2.1.2 Gestão da Manutenção

Nas últimas décadas a manutenção industrial foi evoluindo conforme o interesse estratégico. A função da manutenção encontra-se melhor definida e valorizada dentro das organizações. Assim, a gestão da manutenção é considerada uma parceria interna / externa para o sucesso (Kobbacy e Murthy, 2008).

Não existe uma definição global e generalizada de manutenção, sendo que esta varia consoante a bibliografia consultada.

De acordo com Márquez (2007) manutenção pode ser definida como a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um item, com o objectivo de manter, ou restaurar um estado específico no qual desempenha a sua função (função ou combinação de funções que considera-se necessárias para executar um determinado propósito). Segundo o mesmo autor, a gestão caracteriza o processo de liderança de toda ou parte de uma organização, através do desenvolvimento e manipulação de recursos (humanos, financeiros, material, intelectual ou intangíveis). Assim, gestão da manutenção é definida como:

“Todas as actividades de gestão que determinam os objectivos ou prioridades da manutenção (definidas como metas atribuídas e aceites pelos departamentos de gestão e manutenção), estratégias (definidas como um método de gestão para alcançar os objectivos da manutenção), e responsabilidades de forma a implementá-las através de planeamento, controlo e supervisão da manutenção, entre outros métodos de melhoria, incluindo aspectos económicos da organização”.

De um ponto de vista pragmático, o objectivo principal da gestão da manutenção é a optimização total dos recursos de ciclo de vida, ou seja, maximizar a disponibilidade e fiabilidade dos recursos e equipamentos, de forma a produzir um determinado número de produtos, com as especificações de qualidade desejadas, num período de tempo estipulado (Kobbacy e Murthy, 2008).

2.1.3 Classificação da Manutenção

De forma a compreender a manutenção em âmbito industrial deve-se ter em consideração as diferentes classificações de estratégia em gestão da manutenção. A classificação de cada estratégia é diferente consoante a bibliografia conferida.

De acordo com a Norma Europeia EN13306:2001, as diferentes classificações de manutenção podem ser qualificadas segundo a figura 2.1 (Márquez, 2007).



Figura 2.1 - Classificação de manutenção segundo a norma EN 13306:2001 (Adaptado de: Márquez (2007)).

- **Manutenção preventiva:** Esta estratégia é um elemento importante da actividade de manutenção e é responsável por uma percentagem significativa da manutenção geral desempenhada numa organização. A manutenção preventiva consiste no cuidado e conservação que os técnicos responsáveis devem exercer para manter as instalações em bom estado operacional, através de um processo sistemático de inspecção, detecção e correcção das falhas incipientes quer antes da sua ocorrência, quer evitando o desenvolvimento em falhas de grande magnitude (Dhillon, 2006).

A manutenção preventiva pode ser dividida em dois grupos: pré-determinada ou baseada na condição / preditiva (Márquez, 2007):

- **Manutenção pré-determinada:** Este tipo de manutenção consiste em realizar manutenção preventiva de acordo com um determinado intervalo de tempo ou número de unidades em uso, isto é, manutenção programada, mas sem investigação prévia da condição do equipamento.

- **Manutenção baseada na condição / preditiva:** Este método consiste em efectuar manutenção preventiva baseando-se no desempenho e/ou monitorização de parâmetros. O desempenho e a monitorização dos parâmetros podem ser programados, pedidos ou contínuos. A aplicação desta manutenção é realizada através de uma previsão derivada da análise e avaliação dos parâmetros significativos de degradação do equipamento.

- **Manutenção correctiva:** Como o próprio nome indica esta estratégia de manutenção consiste no trabalho de reparação após a ocorrência de uma falha no equipamento. Raramente, ou nunca, ocorre uma falha num período oportuno ou conveniente. Mesmo que as falhas não provoquem danos consideráveis ou lesões nos operadores, estas originam paragens, atrasos na produção e necessitam de reparações não planeadas e inesperadas. Por estes motivos este tipo de manutenção torna-se a mais dispendiosa para qualquer organização (Stephens, 2010).

De acordo com Márquez (2007), a manutenção correctiva pode ser imediata ou diferida.

- **Manutenção imediata:** Este tipo de manutenção é executado sem demora após a detecção de uma falha para evitar consequências mais problemáticas.

- **Manutenção diferida:** Esta estratégia consiste em não actuar imediatamente após a detecção da falha mas atrasando a sua intervenção de acordo com determinadas regras estipuladas.

2.2 Fiabilidade: Estatística das falhas

Tal como na definição de manutenção, ao longo do tempo não surgiu um consenso sobre a definição de fiabilidade, pois difere de acordo com a bibliografia consultada.

Em termos matemáticos, como ilustrado na figura 2.2, a fiabilidade é mensurável através da probabilidade de um sistema ou componente continuar a sua operação, sem ocorrer falha, durante um intervalo de tempo específico $[0, t]$, segundo determinadas condições de operação e ambientais (Todinov, 2005).

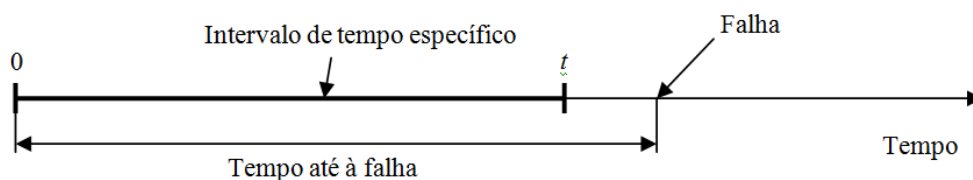


Figura 2.2 - Fiabilidade sob perspectiva matemática (Adaptado de Todinov (2005)).

Segundo a Norma Internacional ISO 8402, fiabilidade é a capacidade que um item possui em desempenhar uma determinada função, sob condições específicas de operação e ambientais, por um determinado período de tempo. Rausand e Høyland (2004) caracterizam esta definição como:

- O termo “item” é utilizado para descrever qualquer componente, subsistema ou sistema que pode ser considerado uma entidade.
- A “função” pode ser uma única função ou uma combinação de funções necessárias para providenciar um serviço específico.
- Todos os itens técnicos (componentes, subsistemas e sistemas) são projectados para desempenhar uma ou mais funções.
- Para um item ser fiável deve realizar mais do que as especificações originais, ou seja, deve operar de modo satisfatório durante um determinado período de tempo, na aplicação para o qual foi concebido.

Segundo Baptista (2007), quando se está a efectuar o tratamento dos dados frequentemente surge informação incompleta ou censurada. Esta falta de informação encontra-se relacionada com o facto de não ter sido observado o tempo exacto de falha. Desta forma, a metodologia a utilizar baseia-se na separação dos dados censurados e não censurados, com o objectivo de obter os parâmetros de forma fiável.

2.2.1 Dados censurados

Uma vez que os dados censurados predominam nos estudos de fiabilidade, é importante compreender os diferentes tipos de dados censurados. Existem três tipos básicos: censurados à direita, censurados à esquerda, e intervalo censurado. Para além destes existe um tipo de dados censurados especial, denominado tempo exacto de falha (Ryan, 2007).

O **tempo exacto de falha** consiste que o final do período de estudo só ocorra no momento de falha de um determinado item, admitindo a inexistência de dados censurados, facilitando o estudo e análise dos dados obtidos. Porém, não é muito usual utilizar este tipo de método, pois existem bastantes variáveis associadas ao facto de aguardar pela falha do item (Ryan, 2007).

Nos dados **censurados à direita** o item é removido do estudo quando ainda se encontra em utilização, permanecendo desconhecido o instante de tempo em que voltará

a falhar. Quando este tipo de censura é utilizado deve-se assumir que os itens retirados do estudo, a um determinado instante, são tão representativos quanto os restantes. Este tipo de censura é denominado Tipo I (Ryan, 2007). Em termos práticos, este tipo de dados censurados é aquele que se encontra em grande parte dos estudos de fiabilidade.

Os dados serem **censurados à esquerda** (também conhecido como Tipo II), significa que, nos itens em estudo, já ocorreram falhas antes do início do período de estudo (Baptista, 2007).

O **intervalo censurado** compreende um intervalo de tempo, onde no instante inicial o item encontra-se em pleno funcionamento e no instante final ocorre uma falha (Ryan, 2007).

A figura 2.3, adaptado de Dias (2002), demonstra claramente os três diferentes tipos de dados censurados, no período de estudo $T = \tau_A - \tau_0$. Considerando que cada falha é representada por um triângulo tem-se que t_1 ($\tau_1 - \tau_0$) corresponde a um dado censurado à esquerda, uma vez que a falha ocorreu antes do início do estudo. Simetricamente, conclui-se que t_3 ($\tau_A - \tau_2$) corresponde a um dado censurado à direita, pois a falha 4 aconteceu depois da conclusão do período de estudo. O intervalo censurado é representado por \tilde{t} , que demonstra um intervalo de tempo em que no instante inicial o item encontra-se em operação, surgindo uma falha no instante final (falha 3).

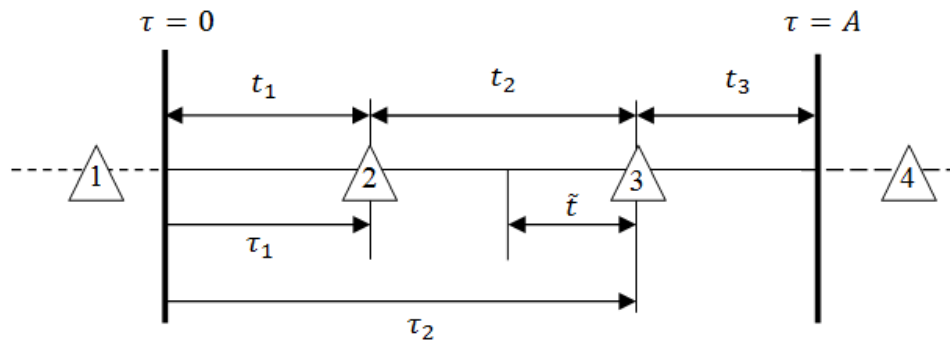


Figura 2.3 - Dados censurados (Adaptado de Dias (2002)).

2.2.2 Análise estatística das falhas

Vários eventos físicos, como a ocorrência de falhas, são conhecidos como processos estocásticos. Estes processos referem-se a eventos que não podem ser

previstos à priori de uma forma concisa, sendo no entanto possível determinar a sua probabilidade de ocorrência num momento particular (Márquez, 2007).

Uma vez que a fiabilidade representa uma probabilidade, esta revela-se como o estado de conhecimento de um sistema e não o seu estado real. A fiabilidade não interpreta uma indicação determinística mas sim uma previsão probabilística de um acontecimento. Isto significa que a fiabilidade não indica que um componente funcione durante um intervalo de tempo, mas demonstra a probabilidade do componente não falhar no mesmo intervalo (Gonçalves, 2008).

Os modelos de probabilidade de falha desempenham um papel importante na avaliação da incerteza associada à ocorrência de eventos indesejáveis, como as falhas. Muito do que é realizado na teoria estatística e na análise da fiabilidade tem como base a selecção de um modelo de falha adequado aos dados observados (Singpurwalla, 2006).

Dado que em muitas áreas de aplicação estatística a modelação das variáveis é efectuada conforme a distribuição Normal, em fiabilidade existe algumas reservas na aplicação desta distribuição, pois os tempos desde a última falha são sempre positivos. Desta forma, a distribuição mais utilizada no contexto da fiabilidade é a distribuição de *Weibull* (Marques, 2009).

Tenha-se T como uma variável aleatória não negativa, representando o tempo de vida de um indivíduo de uma população homogénea. A distribuição de probabilidade de T pode ser especificada de várias formas, embora três sejam particularmente úteis no âmbito da fiabilidade: a função fiabilidade (ou de sobrevivência), a função densidade de probabilidade e a função de risco (Kalbfleisch e Prentice, 2002).

2.2.2.1 Função fiabilidade ou sobrevivência

Partindo do pressuposto que a variável T segue uma distribuição contínua, a função distribuição cumulativa – $F(t)$ – de um item não reparável é definida como a probabilidade do tempo de falha ser inferior a t (expressão 2.1) (Salvendy, 2001).

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(u)du \quad (2.1)$$

Quando se efectuam estudos sobre fiabilidade é comum recorrer a uma função complementar da função distribuição cumulativa, denominada função de fiabilidade ou sobrevivência – $R(t)$. A função fiabilidade é descrita na expressão 2.2 e 2.3:

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T \geq t) \quad (2.2)$$

Equivalentemente,

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(u)du = \int_t^\infty f(u)du \quad (2.3)$$

Onde $R(t)$ representa a probabilidade de sobrevivência de um item no intervalo de tempo $[t ; \infty]$.

2.2.2.2 Função densidade de probabilidade

A função densidade de probabilidade – $f(t)$ – (função utilizada para representar as distribuições de probabilidade) é descrita na expressão 2.4 (Marques, 2009):

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.4)$$

2.2.2.3 Função de risco

A probabilidade de um item falhar no intervalo de tempo $[t , t + \Delta t]$ é dada pela expressão 2.5 (Marques, 2009):

$$P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t) \quad (2.5)$$

A função de risco – $h(t)$ – é obtida dividindo a probabilidade dada pela expressão 2.5 pelo intervalo de tempo Δt , quando este tende para 0 (expressão 2.6)

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.6)$$

Uma vez que as três funções encontram-se interligadas, tem-se a expressão 2.7, onde $f(t) = \frac{d}{dt} F(t)$, então,

$$h(t) = \frac{\frac{d(1-R(t))}{dt}}{R(t)} = \frac{-\frac{d}{dt}R(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t) \quad (2.7)$$

A função geral de fiabilidade é dada quando $R(0) = 1$, obtendo-se desta forma a expressão 2.8

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(u)du} = e^{-H(t)} \quad (2.8)$$

2.3 *Reliability-Centered Maintenance*

A manutenção centrada na fiabilidade ou *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), é uma metodologia desenvolvida para determinar o modelo de manutenção mais eficaz. A eficácia é estabelecida através da combinação da fiabilidade (ou probabilidade de falha) e o custo total (Moore, 2006). O RCM é um processo que sistematicamente identifica as funções e falhas funcionais dos recursos. Identifica também todas as origens das falhas (Mobley *et al.*, 2008).

Segundo Dhillon (2006) os principais objectivos do RCM compreendem:

- Estabelecer prioridades que facilitem a manutenção preventiva de forma efectiva.
- Planeamento de tarefas de manutenção preventiva com a finalidade de restabelecer segurança e fiabilidade aos níveis originais, na eventualidade de deterioração de um item.
- Recolha de informação com o objectivo de melhoria dos itens que demonstrem um nível de fiabilidade original insatisfatório.
- Alcançar os três pontos mencionados acima ao menor custo total (incluindo o custo de falhas residuais e custo de manutenção).

De acordo com Bloom (2006), a metodologia RCM pode ser aplicada através de um programa de manutenção preventiva, dividido em três etapas.

1. Identificar o recurso mais crítico.
2. Especificar as tarefas de manutenção preventiva para o recurso identificado na primeira etapa.
3. Executar correctamente as tarefas descritas na segunda etapa.

A primeira fase é originária de todo o processo. Nesta etapa é identificado o recurso no qual deve ser aplicada a estratégia de manutenção preventiva, de modo a prevenir as falhas e manter a fiabilidade a níveis aceitáveis, preservando as funções mais críticas do recurso. Após determinar o recurso mais crítico, na segunda etapa é designado o tipo de manutenção preventiva através da selecção de tarefas a aplicar. Posteriormente, na terceira e última etapa é imperativo que a gestão calendarize a intervenção em períodos pré-determinados.

2.4 Sistemas Reparáveis

De acordo com Ascher e Feingold (1984), um sistema reparável (SR) é aquele que, depois de não realizar uma ou mais funções satisfatoriamente, pode ser restaurado à sua condição ideal de funcionamento por qualquer método sem recorrer à substituição integral de todo o sistema. Lindqvist (2006) acrescenta que os sistemas reparáveis devem incluir a possibilidade de acções de manutenção adicionais, visando melhorar o desempenho do sistema.

A ocorrência de falhas contém informações cruciais sobre a estabilidade do sistema. Especialmente para sistemas altamente fiáveis, a informação do tempo entre falhas é essencial para detectar possíveis instabilidades (Sürücü e Sazak, 2009).

A análise do tempo entre falhas revela-se importante para entender o comportamento do sistema, ou seja, se a fiabilidade do sistema é constante, crescente ou decrescente. Deste modo, é possível compreender a sua evolução, propondo metodologias adequadas (Marques, 2009).

2.4.1 Teste de *Laplace*

O Teste de *Laplace* foi desenvolvido para analisar o comportamento de um sistema, ou seja, estudar a evolução da taxa de falhas. Considerando verdadeiro o pressuposto i.i.d. (independentes e identicamente distribuídos), onde as falhas ocorrem segundo um Processo de Poisson Homogéneo e o intervalo de tempo entre falhas modela-se através de uma distribuição Exponencial Negativa (Marques, 2009).

O modo de aplicação desta metodologia compreende se o teste é limitado pelo tempo ou número de falhas.

Os pressupostos são idênticos para ambos modelos, ou seja,

H_0 : Taxa de falhas constante

H_1 : Taxa de falhas não constante

A diferença reside na expressão de cálculo da estatística do Teste de *Laplace* (z_0). Para o teste limitado pelo tempo a expressão é a 2.9. O teste limitado pelo número de falhas é determinado pela expressão 2.10.

$$z_0 = \sqrt{12 \times n_f} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f \times T} - 0,5 \right] \quad (2.9)$$

$$z_0 = \sqrt{12 \times (n_f - 1)} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f-1} \tau_i}{(n_f-1) \times T} - 0,5 \right] \quad (2.10)$$

Onde,

n_f – número de falhas

T – tempo do período em estudo

τ_i – tempo de vida do sistema no momento da falha de ordem i

A conclusão que se retira do Teste de *Laplace* é igual para os dois modelos, onde rejeita-se a hipótese nula H_0 se $z_0 > \left| z_{\frac{\alpha}{2}} \right|$, para um determinado nível de significância α . Assim, pode-se concluir que as falhas ocorrem segundo um Processo de Poisson não Homogéneo. Simetricamente, não se rejeita a hipótese nula H_0 se $z_0 < \left| z_{\frac{\alpha}{2}} \right|$, e desta forma as falhas ocorrem segundo um Processo de Poisson Homogéneo (Marques, 2009).

2.4.2 Processos de Poisson

Na teoria dos processos estocásticos o processo de Poisson desempenha um papel especial, comparável ao papel que a distribuição Normal executa na teoria da probabilidade. São numerosos os casos reais que podem ser estudados e descritos segundo um processo de Poisson (Gnedenko e Ushakov, 1995).

Os processos de Poisson permitem entender se o comportamento dos dados segue uma aleatoriedade, e deste modo obter conclusões sobre a evolução das falhas ao longo do tempo.

2.4.2.1 Processo de Poisson Homogéneo

Entende-se um Processo de Poisson Homogéneo (PPH) todo o processo que possui uma taxa de falhas (λ) constante.

Segundo Birolini (2007) a taxa de falhas é descrita pela expressão 2.11.

$$\lambda = \frac{n_f}{T} \quad (2.11)$$

O mesmo autor refere que caso um item apresente uma taxa de falhas constante e os tempos entre falha demonstrem ser independentes e exponencialmente distribuídos,

obtem-se um indicador útil no estudo da fiabilidade, o tempo médio entre falhas - *Mean Time Between Failures (MTBF)* - dado pela expressão 2.12.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{n_f} \quad (2.12)$$

Dias (2002) afirma que um PPH é definido como uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas exponencialmente distribuídas. Um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ denomina-se PPH se:

- i. $N(0) = 0$
- ii. $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$, o processo é incrementado de forma independente.
- iii. O número de falhas em qualquer intervalo Δt segue uma distribuição de Poisson com um valor médio de $m = \lambda \times \Delta t$.

Assim, nestas condições a probabilidade de ocorrerem n_f falhas num determinado intervalo Δt será dada pela expressão 2.13 (Dias, 2002).

$$P\{N(\Delta t) = n_f\} = \frac{e^{-m} m^{n_f}}{n_f!} \quad (2.13)$$

De acordo com Ascher e Feingold (1984), o tempo até à falha de um componente que segue um PPH é modelado através de uma função densidade de probabilidade exponencial negativa, segundo a expressão 2.14.

$$f(\Delta t) = \lambda e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.14)$$

De onde a expressão de fiabilidade, para um intervalo de tempo Δt , é ajustável a sistemas que falhem segundo um PPH é dada pela expressão 2.15.

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.15)$$

2.4.2.2 Processo de Poisson Não Homogéneo

Um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH) caracteriza-se por todo o processo que apresente uma taxa de falhas não constante. Este resultado é bastante útil em termos práticos pois permite revelar se a taxa de falhas do sistema é decrescente (“fiabilidade crescente”), ou se é crescente, sendo então um sistema que se está a deteriorar (fiabilidade decrescente).

De acordo com Marques (2009), a taxa de falhas destes processos são dependentes do tempo, como indicado na expressão (2.16). A expressão (2.17) representa a fiabilidade deste modelo de processos.

$$\rho(t) = \frac{dN[t]}{dt} \quad (2.16)$$

$$R(t) = e^{\int \rho(t) dt} \quad (2.17)$$

2.4.2.2.1 Modelo de Crow

Crow (1974), desenvolveu um método para analisar um sistema que apresente um PPNH, sendo apenas válido para os casos em que a taxa de falhas é decrescente, ou seja, quando a fiabilidade do sistema está a melhorar. Assim, a taxa de falhas do modelo de Crow é dado pela expressão 2.18.

$$\rho(\tau) = \lambda^* \beta^* \tau^{(\beta^*-1)} \quad \lambda^*, \beta^* > 0 \quad \tau \geq 0 \quad (2.18)$$

Onde as variáveis λ^* e β^* são os parâmetros tradicionais do modelo de Crow. Estas variáveis foram designadas desta forma para não induzir em equívoco com a taxa de falhas λ , e com o parâmetro de forma β da distribuição de *Weibull*.

A estimação analítica é obtida pelo método de máxima verosimilhança. Então, para dados censurados tem-se as expressões (2.19) e (2.20).

$$\hat{\lambda}^* = \frac{n_f}{T_0^{\beta}} \quad (2.19)$$

$$\hat{\beta}^* = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln\left(\frac{T_0}{\tau_i}\right)} \quad (2.20)$$

Uma vez que os tempos entre falhas não são constantes, não faz sentido calcular o *MTBF*. Para estes casos recorre-se ao denominado tempo cumulativo médio entre falhas (*CMTBF*). A expressão (2.21) indica como calcular o *CMTBF*.

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} \quad (2.21)$$

2.5 Distribuição de *Weibull*

A distribuição de *Weibull* é uma das distribuições mais utilizadas no âmbito de estudos de fiabilidade. Esta distribuição, cuja designação derivou do nome de um professor sueco *Waloddi Weibull* (1887-1979), teve origem com o objectivo de modelar

a dureza dos materiais. A distribuição de *Weibull* é bastante flexível podendo ser, de acordo com uma apropriada escolha de parâmetros (nomeadamente o parâmetro de forma), ajustada a uma grande variedade de formas de distribuições de probabilidade (Rausand e Høyland, 2004).

A distribuição de *Weibull* contribui significativamente para a análise dos tempos entre falhas, dada a sua capacidade de descrever o comportamento do sistema quer este demonstre uma taxa de falhas constante, crescente ou decrescente (Nelson, 2004).

Quando se realiza a análise do tempo t até à falha através da distribuição de *Weibull*, designada por *Weibull Analysis*, o intuito é efectuar previsões sobre o intervalo de tempo até à falha de todos os itens, adequando uma distribuição estatística aos dados de uma amostra representativa. Assim, pode-se aproveitar a distribuição parametrizada para estimar importantes características dos itens, como a fiabilidade ou probabilidade de falha em um instante específico, a média de vida do item e a taxa de falhas (Gonçalves, 2008).

2.5.1 Função densidade de probabilidade

A função densidade de probabilidade da distribuição de *Weibull* é de extrema importância na caracterização do comportamento probabilístico de um grande número de fenómenos da vida real. Esta função é particularmente útil como modelo de falha em analisar a fiabilidade de diferentes tipos de sistemas (Qiao e Tsokos, 1995). A expressão 2.22 define a função densidade de probabilidade.

$$f(x|t_0, \eta, \beta) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \left(e^{-\left(\frac{x-t_0}{\eta} \right)^\beta} \right), x \geq t_0 \quad (2.22)$$

O parâmetro t_0 encontra-se definido em $[-\infty; +\infty]$ representando, por regra geral, uma unidade de tempo (seg., min., h., dia, mês). Neste contexto, t_0 é designado por atraso, vida mínima, ou genericamente origem. Dado que uma unidade de tempo não pode ser negativa, então o domínio de t_0 será o intervalo $[0; +\infty]$. De uma perspectiva estatística, designa-se t_0 como parâmetro de localização. Alterando este parâmetro, mantendo os restantes constantes, resulta no movimento paralelo da curva sobre a abcissa (Rinne, 2009). A representação esquemática encontra-se no Anexo I.

O parâmetro η da expressão (2.22) tem como domínio $[0; +\infty]$, denominando-se vida característica. Este parâmetro designa-se desta forma devido ao facto de quando $x = \eta$, pela expressão (2.24), resulta $R(\eta) = e^{-1} = 0,3679$. Este intervalo de tempo representa o tempo para o qual se espera que 37% da população sobreviva (63 % falha até $x = \eta$). Do ponto de vista estatístico η representa o parâmetro de escala. Modificando o parâmetro η , mantendo os restantes constantes, altera a curva em relação às ordenadas (Rinne, 2009). A representação esquemática encontra-se no Anexo I.

O parâmetro β da expressão (2.22) está definido no intervalo $[0; +\infty]$. Este parâmetro é designado inclinação-Weibull, pois como o próprio nome indica, representa a inclinação da função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull. De uma perspectiva estatística, β denomina-se parâmetro de forma. Variando este parâmetro implica que a função densidade de probabilidade altere a sua forma (Rinne, 2009). A representação esquemática encontra-se no Anexo I.

2.5.2 Função fiabilidade

A função distribuição cumulativa de Weibull é dada pela expressão (2.23) (Stapelberg, 2009).

$$F(x|t_0, \eta, \beta) = 1 - e^{-\left(\frac{x-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.23)$$

Então, a função fiabilidade é descrita pela expressão (2.24)

$$R(x|t_0, \eta, \beta) = 1 - F(x|t_0, \eta, \beta) = e^{-\left(\frac{x-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.24)$$

2.5.3 Função de risco

A função de risco é resultado da divisão entre a função densidade de probabilidade e função fiabilidade, dando origem à expressão (2.25) (Stapelberg, 2009).

$$h(x|t_0, \eta, \beta) = \frac{f(x|t_0, \eta, \beta)}{R(x|t_0, \eta, \beta)} = \frac{\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \left(e^{-\left(\frac{x-t_0}{\eta}\right)^\beta}\right)}{e^{-\left(\frac{x-t_0}{\eta}\right)^\beta}} \quad (2.25)$$

Logo,

$$h(x|t_0, \eta, \beta) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.26)$$

Da expressão 2.26 verifica-se que a função de risco aumenta quando $\beta > 1$ e que diminui quando $0 < \beta < 1$. Quando $\beta = 1$ (distribuição exponencial), a taxa de falhas é constante. A representação esquemática dos diferentes valores de β encontra-se no Anexo I.

Capítulo 3

Apresentação da empresa

3.1 PSA – Port of Singapore Authority

O Grupo PSA International é considerado um dos maiores operadores portuários mundiais. Com maior presença operacional nos terminais portuários da Bélgica e Singapura, este grupo opera uma extensa rede global de projectos portuários na China, Europa, Índia, Japão, Sudeste Asiático, Coreia e Singapura.

Mundialmente, em 2004, a PSA movimentou mais de 30 milhões de contentores nos terminais portuários, correspondendo a quase 10% do rendimento global estimado. Este valor tem aumentado anualmente, cimentando a posição do Grupo PSA International como um dos líderes neste ramo.

3.2 PSA Sines – Terminais de Contentores, S.A.

O Terminal de Contentores de Sines, denominado Terminal XXI, iniciou as suas funções a 31 de Maio de 2004, sob regime concessionário da organização PSA International.

A sua principal actividade consiste no movimento de embarque/desembarque de contentores que atracam no seu terminal. Outras actividades inerentes consistem na armazenagem de contentores, gestão de contentores frigoríficos e organização logística de transporte entre o seu terminal e os principais centros logísticos da Península Ibérica.



Figura 3.1 - Carga do navio MSC JOANNA (Fonte: PSA Sines).

3.2.1 Localização geográfica

Localizada na zona leste do Porto de Sines, a leste do Terminal Multipurpose e a Sul do Terminal GNL, a PSA Sines encontra-se numa posição estratégica privilegiada a nível logístico.

Dotado de um fundo natural de -16,5 m/ZH (Zona Hídrica), o Terminal da PSA Sines usufrui de condições únicas na costa Atlântica da Península Ibérica, sendo capaz de atracar e operar os maiores navios porta contentores mundiais.

O Terminal XXI, que pertence à Zona Industrial e Logística do Porto de Sines, encontra-se no Sudoeste da Europa, a 58 milhas náuticas a Sul de Lisboa, oferecendo ligações marítimas aos mais importantes mercados mundiais como o caso da Ásia, América do Norte, África e Mediterrâneo Oriental. Além disso, este terminal está localizado no cruzamento das duas maiores rotas Atlânticas Norte/Sul e Este/Oeste.



Figura 3.2 - Vista aérea do Terminal XXI (Fonte: PSA Sines).

3.2.2 Projecto de expansão

Actualmente o Terminal de Contentores de Sines encontra-se em fase de expansão. O quadro 3.1 demonstra as fases do projecto.

Quadro 3.1 - Fases do projecto de expansão do Terminal de Contentores.

	Actualmente	1ª fase	2ª fase
Comprimento do Cais (m)	380	730	940
Capacidade de Movimentação (TEU)	400.000	800.000	1.320.000
Movimentação de Contentores	Pórticos Post-panamax e Super Post-panamax	Pórticos Post-panamax e Super Post-panamax	9 Pórticos Post-panamax e Super Post-panamax

Concluída a fase de expansão, a PSA Sines prevê aumentar consideravelmente a sua capacidade de movimentação de contentores de 400.000 para 1.320.000 TEU, tornando-o num dos principais portos da Península Ibérica e Sul da Europa.

O TEU é a unidade utilizada no negócio de movimentação de carga contentorizada. Existem duas designações para a classe de contentores: TEU, ou seja um contentor de comprimento 20 pés e FEU (*Forty feet Equivalent Unit*), um contentor de comprimento 40 pés ou dois contentores de comprimento 20 pés, podendo representar também um contentor de comprimento 45 pés, embora estes sejam mais raros de encontrar. A figura 3.3 ilustra dois FEU.



Figura 3.3 - Dois FEU ou dois contentores de comprimento 40 pés (Fonte: PSA Sines).

O aumento do comprimento do cais de 380 para 940 m permite que sejam instalados mais pórticos, possibilitando a atracagem de um maior número de navios Post-panamax e Super Post-panamax, ou seja, navios cujas dimensões são superiores à classe panamax (navios com dimensões superiores às eclusas do Canal do Panamá).

A figura 3.4 ilustra o projecto de expansão em curso na PSA Sines.

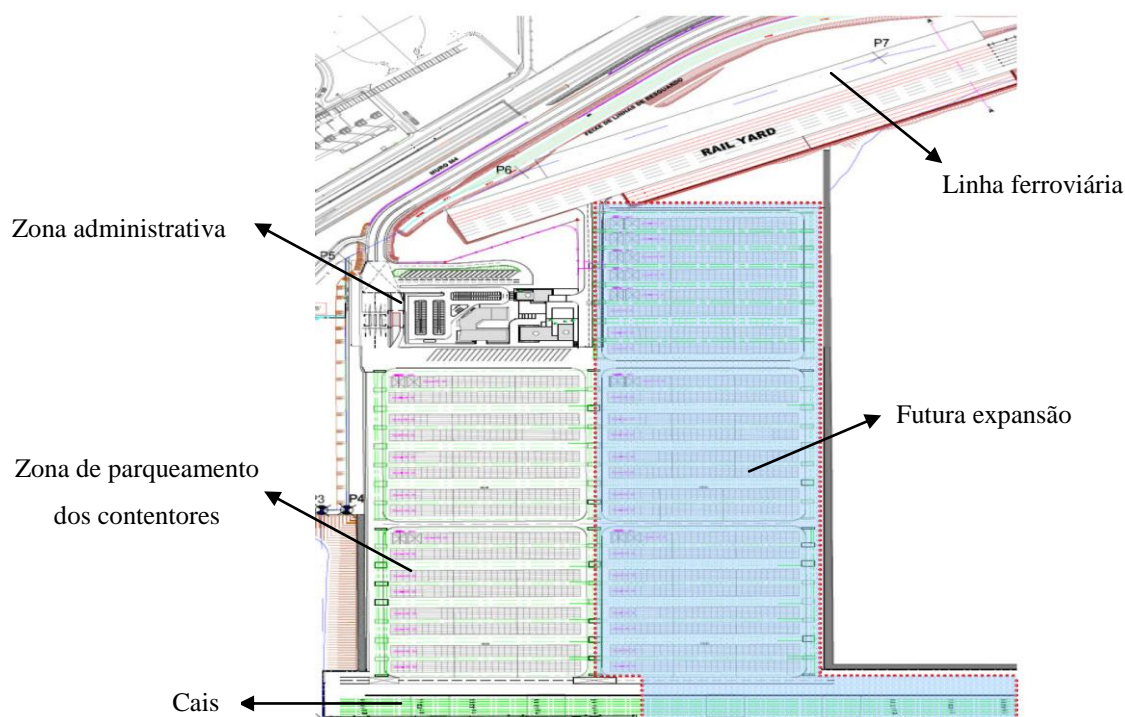


Figura 3.4 - Layout da PSA Sines (Fonte: PSA Sines).

3.2.3 Equipamentos de operação portuária.

Actualmente a PSA Sines conta com diversos equipamentos específicos de operação portuária para realizar a movimentação dos contentores.

- *Quay-Crane* (pórtico de cais)

As *Quay-Crane* (QC) são equipamentos que permitem embarcar ou desembarcar os contentores nos navios. Estas deslocam-se através de carris que permitem posicionar a QC no local desejado para as operações. A figura 3.5 ilustra os três pórticos presentes no Terminal de Contentores de Sines. Dada a sua complexidade de funcionamento são necessários três operadores por cada QC.



Figura 3.5 - As três QC em funcionamento na PSA Sines (Fonte: PSA Sines).

- *Rubber Tyred Gantry* (gruas de parque)

As *Rubber Tyred Gantry* (RTG) são equipamentos que operam no parque de contentores, movimentando os contentores conforme as necessidades. Estes são mais flexíveis que as QC pois conseguem deslocar-se por todo complexo. Actualmente existem seis RTG em funcionamento na PSA Sines. É necessário apenas um operador para manobrar uma RTG. A figura 3.6 ilustra um destes equipamentos.



Figura 3.6 - Uma das seis RTG presentes no Terminal (Fonte: PSA Sines).

-
- *Prime-Mover* (camião)

Os *Prime-Mover* (PM) são caminhões que circulam por todo o Terminal, transportando os contentores entre as QC e o parque de contentores. Existem dezasseis PM em funcionamento no complexo portuário. Cada PM é conduzido por um operador. A figura 3.7 ilustra um dos PM do Terminal.



Figura 3.7 - Um dos dezasseis PM no Terminal (Fonte: PSA Sines).

- *Reach staker*

Os *Reach staker* (RS) são equipamentos utilizados para transportar um contentor em distâncias relativamente curtas, ou para locais onde as RTG não tenham alcance. Existem três RS em funcionamento no Terminal XXI, sendo que é necessário apenas um operador para manobrar cada RS. A figura 3.8 mostra um dos RS da PSA Sines.



Figura 3.8 - Um dos três RS presentes no Terminal (Fonte: PSA Sines).

3.2.4 Modo operacional do Terminal

Como referido anteriormente, o Terminal de Contentores de Sines realiza operações de embarque/desembarque de contentores, assim como efectua toda a sua organização logística de transporte. No seu actual modo de operação, este Terminal funciona maioritariamente como um entreposto portuário, uma vez que a maior percentagem de contentores que são desembarcados neste local tendem a permanecer no parque de contentores até à chegada do respectivo navio, que o irá transportar para o seu destino final. No entanto, existe uma percentagem de contentores que são transportados via rodoviária ou ferroviária.

A figura 3.9 representa o desembarque de um contentor no Terminal XXI. Após a atracagem do navio, a QC retira os contentores colocando-os no atrelado dos PM, que por sua vez encaminham os contentores para a respectiva localização de armazenagem, ou seja, para um determinado “alfa”. O parque de contentores encontra-se dividido em 16 “alfas”, permitindo deste modo ser mais fácil determinar a localização de um contentor específico. Quando se pretende realizar o embarque de um contentor o procedimento utilizado é o inverso.

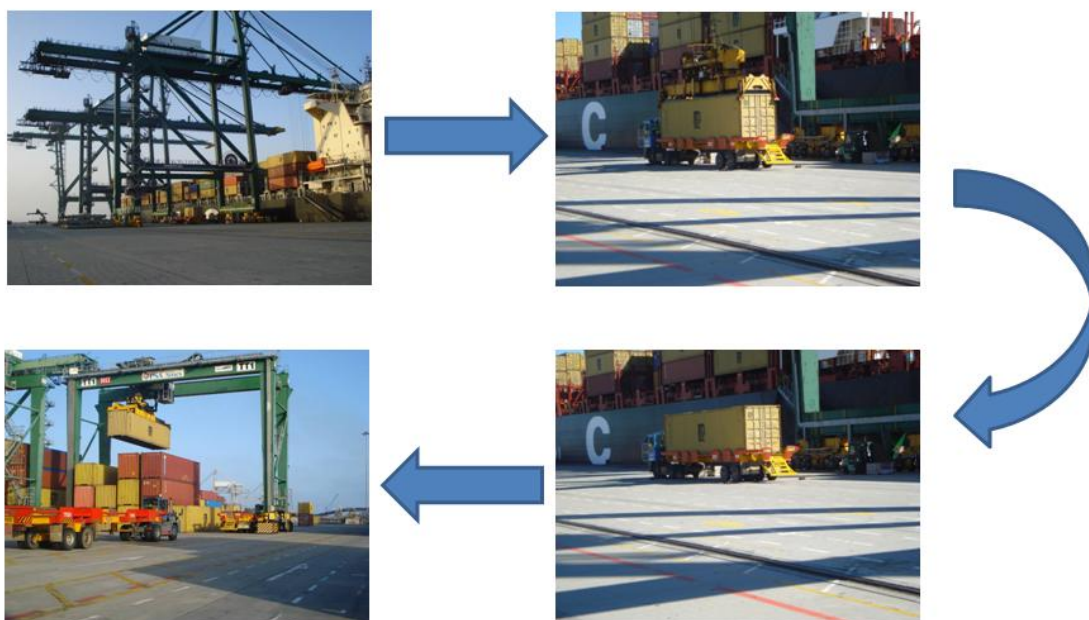


Figura 3.9 - Desembarque de um contentor no Terminal XXI (Fonte: PSA Sines).

Capítulo 4

Rubber Tyred Gantry

Desempenhando um papel chave nos terminais, as RTG são os equipamentos mais utilizados em operações de parque devido à sua mobilidade e flexibilidade de movimentação (Linn *et al*, 2003).

Segundo Zhang *et al.*(2002), uma vez que as RTG são de elevadas dimensões e deslocam-se em marcha lenta, a sua movimentação entre “alfas” ocupa uma grande área durante um longo período de tempo, obstruindo o tráfego, atrasando assim as restantes operações a decorrer no terminal. Desta forma, e de acordo com Ng (2005), a quantidade de tempo dispendida no deslocamento das RTG entre os diferentes “alfas” do terminal revela que estas são, em grande parte, o *bottleneck* do fluxo de contentores de um terminal. Aliado a este facto, uma correcta gestão da manutenção torna-se de extrema importância para a operacionalidade das RTG, pois o tempo de inoperabilidade do equipamento, associado ao tempo de valor não acrescentado (operações pré ou pós movimentação de contentores) pode tornar-se significativo.

No Terminal de Contentores de Sines, como referido anteriormente, existem seis RTG (três da marca A e três da marca B). Apesar da finalidade das RTG ser a mesma – movimentação e transporte de carga contentorizada – existem algumas diferenças entre estes dois tipos de equipamentos, quer a nível estrutural, mecânico e eléctrico.

Dado que estes equipamentos são complexos, e como são constituídos por um elevado número de itens então podem ser agrupados e categorizados segundo sistemas e subsistemas principais. Embora existam diferenças entre os equipamentos os sistemas principais são idênticos. Assim, a figura 4.1 representa os sistemas e subsistemas principais de uma RTG e a figura 4.2 ilustra o *layout* da mesma.

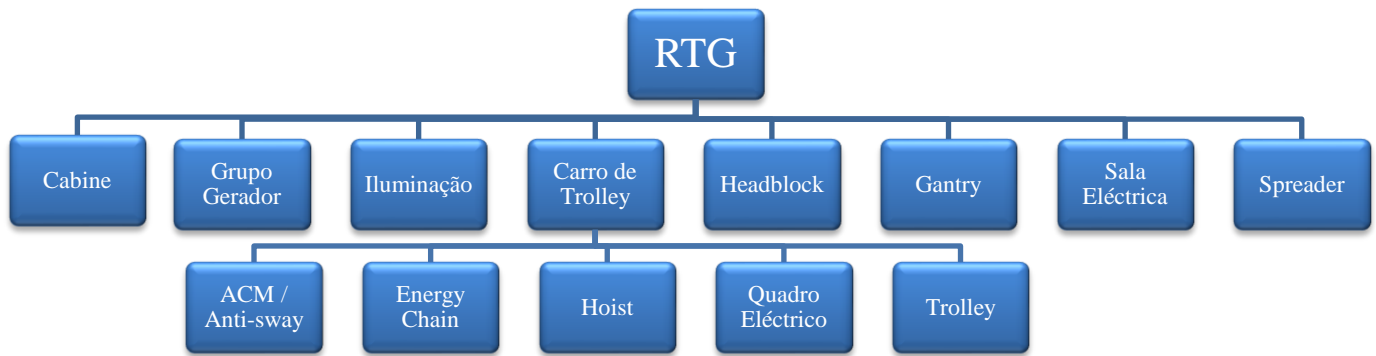


Figura 4.1- Sistemas e Subsistemas principais de uma RTG.

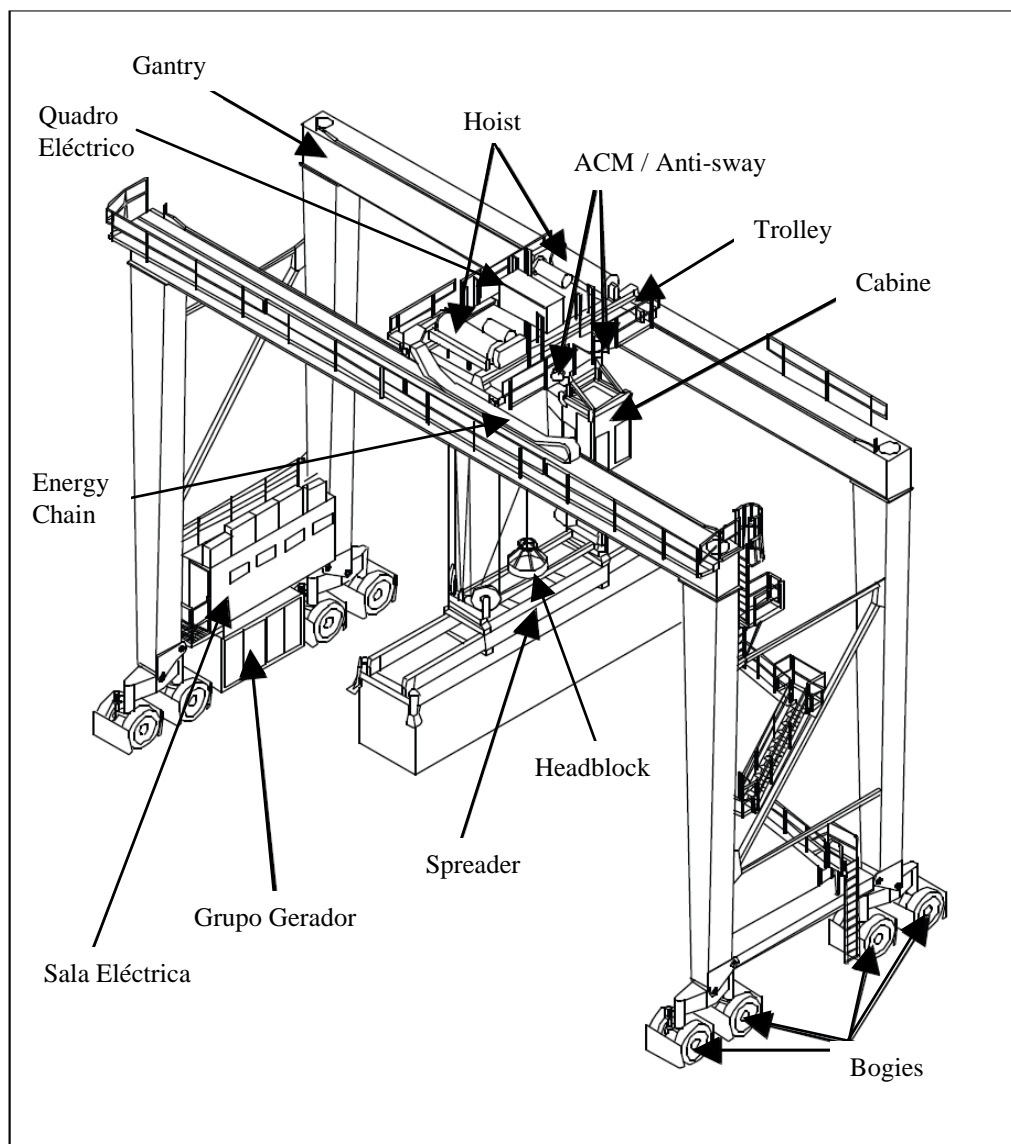


Figura 4.2 - Layout de uma RTG da marca A.

4.1 Cabine

A Cabine do operador encontra-se localizada numa posição elevada, fixada a uma das extremidades do Carro de Trolley, como demonstrado na figura 4.2. A Cabine possui janelas de lado e laminadas no chão, como visível na figura 4.3 (a), permitindo que o operador tenha uma excelente visão periférica durante a movimentação dos contentores.

No centro da Cabine está a cadeira do operador, sendo ajustável em posição e inclinação, conforme os movimentos que o operador efectue. Anexado ao assento existe duas consolas, onde estão localizados dois *mastercontrollers* (representado na figura 4.3 (b)) e um painel de sinalizadores.



Figura 4.3 – Interior da Cabine (a) e *Mastercontroller* (b).

Os dois *mastercontrollers* controlam os movimentos principais da RTG (Gantry, Hoist e Trolley), assim como o *lock / unlock* dos *twistlocks* do Spreader. Os sinalizadores permitem que o operador se encontre sempre informado de várias informações importantes no desempenho da sua função. Estes, conjuntamente com os sinalizadores que se encontram num dos cantos dianteiros da Cabine, logo acima do nível do chão (visível na figura 4.3 (a)), demonstram se o Spreader se encontra na posição de 20 ou 40 pés, se os *twistlocks* se encontram *lock* ou *unlock*, entre outras informações.

Localizada na parte dianteira e direita da cadeira encontra-se o painel do operador e a RDT. O painel do operador, representado na figura 4.4 (a), à esquerda, possibilita seleccionar várias páginas de informação relativamente ao estado e

funcionamento da RTG. Este painel também indica falhas provenientes dos sistemas de protecção, assim como do sistema de falhas do equipamento. Ao lado deste painel, figura 4.4 (a), à direita, existe um aparelho denominado Remote Digital Terminal (RDT), cuja função é orientar os operadores para os contentores que devem movimentar.

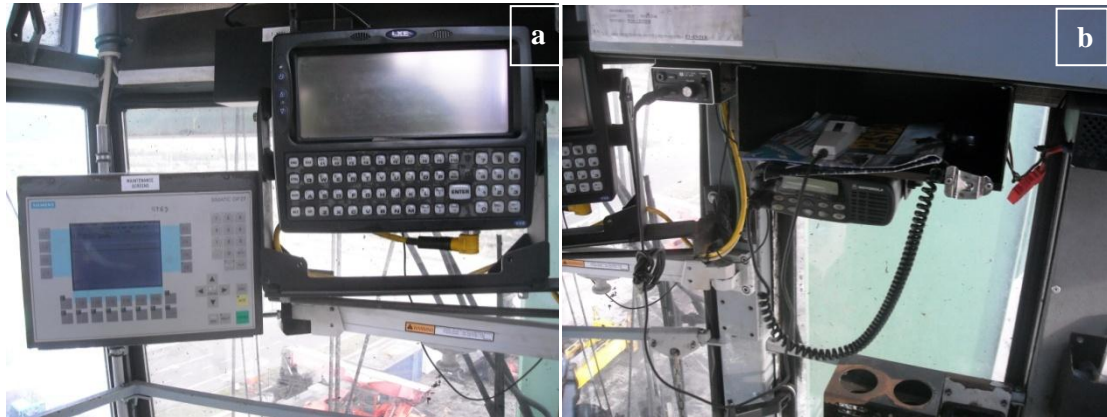


Figura 4.4 - Painel do operador e RDT (a) e altifalante e rádio (b).

A Cabine possui também um rádio e um altifalante, representados na figura 4.4 (b), sendo indispensáveis para desempenho das operações, pois são fundamentais na rede de comunicação entre os operadores, o departamento de engenharia e operações, como para a comunicação entre o operador e o condutor do PM, quando está a ser carregado ou descarregado.

Nas janelas frontais do equipamento encontram-se instaladas escovas limpa vidros, cuja funcionalidade é limpar as gotas de chuva ou sujidade que se encontra no exterior.

Na Cabine existe um dos três Programmable Logic Controller (PLC). O PLC é considerado o “cérebro” da máquina, pois controla todas as acções que a RTG efectua. O PLC que aqui se encontra é denominado de *master*, porque recebe e processa a informação proveniente da Cabine e dos restantes dois PLC, chamados *slave* (presentes na Sala Eléctrica e Quadro Eléctrico), sempre de acordo com a funcionalidade e segurança do equipamento.

4.2 Carro de Trolley

Como visível na figura 4.1, o sistema Carro de Trolley pode ser dividido em cinco subsistemas, dado que este sistema é composto por um elevado número de

componentes. Desta forma têm-se como subsistemas o ACM / Anti-sway, Energy Chain, Hoist, Quadro Eléctrico e Trolley.

4.2.1 ACM / Anti-sway

Estes dois tipos de dispositivos, apesar do seu mecanismo e forma de operação serem diferentes, foram concebidos com a mesma finalidade, ou seja, efectuar compensações na posição do Spreader. Estes sistemas foram desenvolvidos para realizar compensações quando ocorre alguma oscilação, originado pelo vento ou por aceleração / desaceleração do Carro de Trolley, com o objectivo de manter a posição do Spreader o mais equilibrada e alinhada possível. O sistema ACM encontra-se instalado nas RTG da marca A, e o sistema Anti-sway realiza a sua função nas RTG da marca B.

O dispositivo Anti-sway situa-se sob o Carro de Trolley. Este, como representado na figura 4.5, é constituído por um conjunto de roldanas, motor inversor, caixa redutora, corrente de transmissão e um tambor com embraiagem e travões. O motor inversor, durante o período de operação da RTG, encontra-se constantemente a funcionar, garantindo que os cabos de aço permanecem sob tensão. Quando o Spreader oscila, o disco de travão que está conectado ao eixo do tambor proporciona uma determinada força ao cabo de aço, resistindo à oscilação. Esta acção é efectuada várias vezes de forma a diminuir continuamente a oscilação.

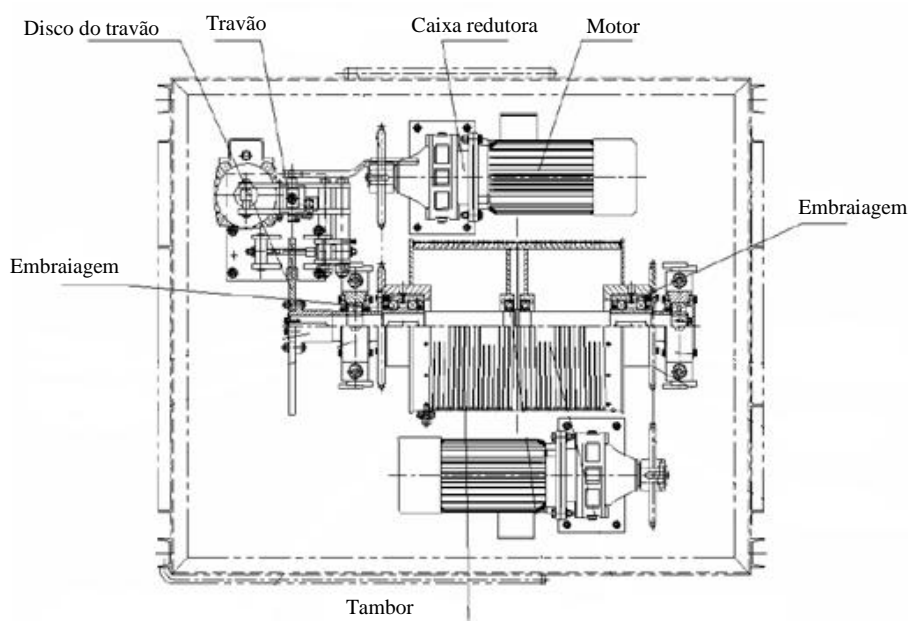


Figura 4.5 - Sistema Anti-sway.

O sistema ACM localiza-se também sob o Carro de Trolley. Este sistema é composto por motores, engrenagens, cabos de aço, roldanas e dois tambores. Este dispositivo possui quatro motores, sendo que cada par de motores controla um par de cabos de aço, através de um tambor, onde cada cabo de aço está conectado a uma extremidade do Spreader. O facto de existirem dois tambores permite que a distribuição de tensão nos cabos seja mais flexível, permitindo um melhor controlo da oscilação.

Ocasionalmente, quando a RTG se encontra a carregar ou descarregar um PM, o Spreader pode não se encontrar alinhado com a parte superior do contentor, caso o chassis do trailer se encontrar inclinado ou a pilha de contentores não se encontrar em piso plano. Nestes caso é necessário efectuar algumas compensações na posição do Spreader. Estas compensações denominam-se por *Trim*, *List* e *Skew*. A figura 4.6 (a) explica como é efectuada a compensação por *Trim*, e a figura 4.6 (b) indica as direcções de cada compensação, sendo que a compensação segundo “z” denomina-se *Trim*, segundo “x” *List* e segundo “y” *Skew*.

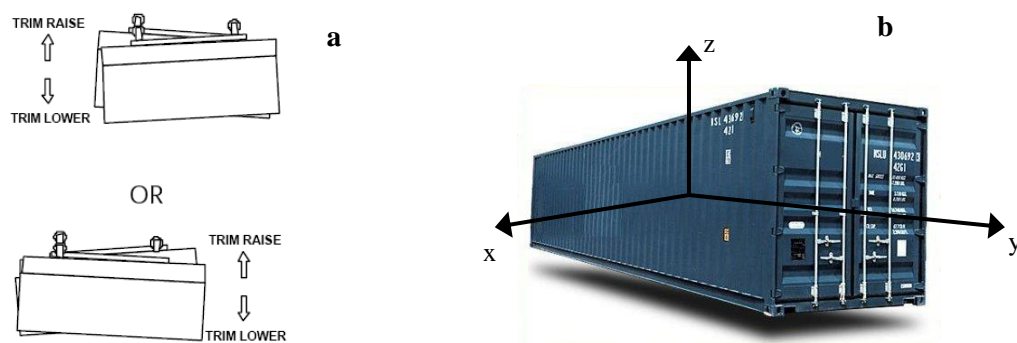


Figura 4.6 – Compensação *Trim* (a) e eixo representativo das compensações *Trim*, *List* e *Skew* (b).

O sistema ACM é, nas RTG da marca A, responsável por estas compensações. As RTG da marca B só efectuam a compensação *Skew*, onde o responsável é um sistema independente, designado Motor Skew.

4.2.2 Energy Chain

O sistema *Energy Chain*, ilustrado na figura 4.7, é responsável pela transferência de energia entre o Grupo Gerador e os mecanismos de movimentação e operação da RTG (Hoist, Trolley, ACM / Anti-sway), assim como para a Cabine do operador. O conjunto de cablagem vai-se estendendo ou retraindo ao longo da sua esteira, acompanhando o movimento do Carro de Trolley.



Figura 4.7 - *Energy chain.*

4.2.3 Hoist

O sistema Hoist é um mecanismo que efectua um dos movimentos fundamentais na operação de uma RTG, sendo os restantes Trolley e Gantry. Este consiste na elevação ou descida do Spreader, consoante o seu intuito. Representado na figura 4.8, este mecanismo é composto por um motor, um acoplamento flexível de alta velocidade, uma caixa redutora, tambor, travões, cabos de aço, sensores de protecção, entre outros. O motor acciona a caixa redutora, que através do acoplamento movimenta o tambor de forma a enrolar ou desenrolar os cabos de aço, que por sua vez levantam ou baixam o Spreader.

Este mecanismo encontra-se equipado com dispositivos de protecção para situações que comprometam o funcionamento correcto da RTG. Uma das protecções está relacionada com a velocidade excessiva do motor, sendo accionada quando a velocidade do motor supera a velocidade máxima. Neste sistema existe outro dispositivo de protecção que se denomina *loadcells*, sendo um mecanismo que contabiliza o peso dos contentores quando estes estão a ser içados. Existem outras protecções relativas aos limites de posição, tais como:

- Abrandamento da velocidade quando a posição do Spreader se encontra próxima do limite superior ou inferior.
- Paragem do mecanismo quando é atingido o limite superior ou inferior, através de dispositivos denominados fim de curso.

Os *encoders* são dispositivos que se encontram acoplados aos motores ou tambores, com o objectivo de fornecerem ao PLC a que posição se encontra o Spreader ou a que velocidade se desloca.

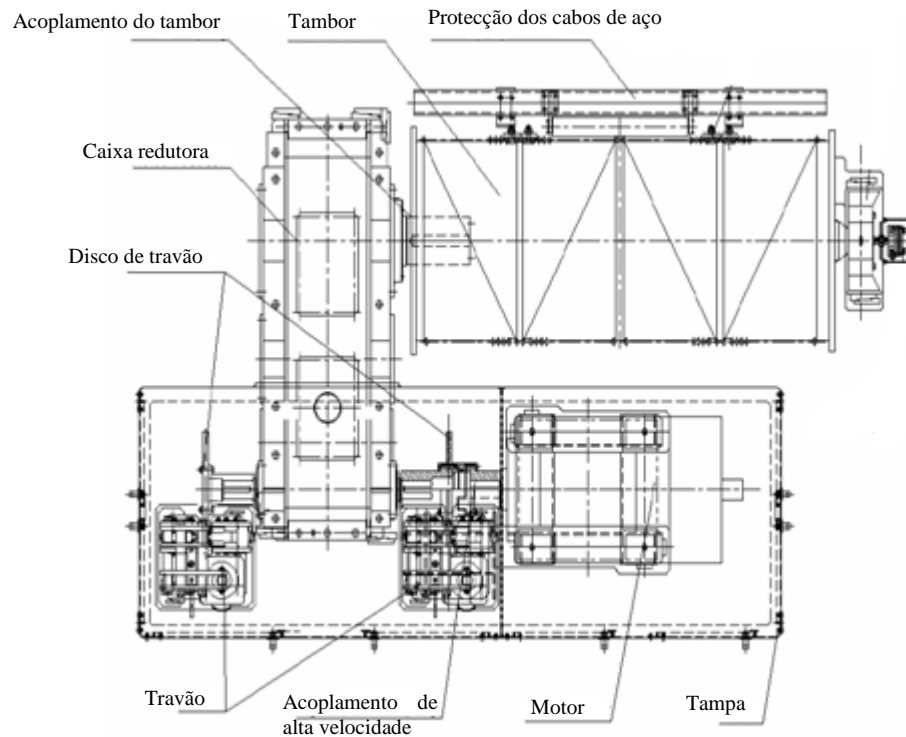


Figura 4.8 - Sistema Hoist.

4.2.4 Quadro Eléctrico

O Quadro Eléctrico, ilustrado na figura 4.9, é um sistema que se localiza sobre o Carro de Trolley e é composto por inversores do sistema Hoist, Gantry, Trolley e ACM/Anti-sway, disjuntores contra sobrecarga e curto-circuitos e uma protecção galvânica, para evitar que as cartas queimem. Presente neste sistema existe um PLC *slave*, que transmite as informações ao PLC *master*.

Um inversor é um dispositivo que transforma corrente AC em DC, rectificando a onda para a potência desejada.



Figura 4.9 - Quadro Eléctrico.

4.2.5 Trolley

O sistema Trolley desempenha uma das funções mais importantes nas operações da RTG. Esta função consiste no movimento que o Carro de Trolley efectua, ao longo de dois carris, na parte superior das duas vigas principais.

Ainda que a finalidade seja a mesma, existe uma diferença na forma de deslocamento do Carro de Trolley entre as RTG da marca A e B. Nas RTG da marca A, cada uma das quatro rodas tem o seu próprio motor de accionamento e caixa redutora, responsáveis pelo deslocamento. Relativamente às RTG da marca B, o mecanismo inclui dois motores eléctricos que accionam os redutores através de acoplamentos. Estes redutores por sua vez accionam as rodas através de veios universais, como ilustrado na figura 4.10

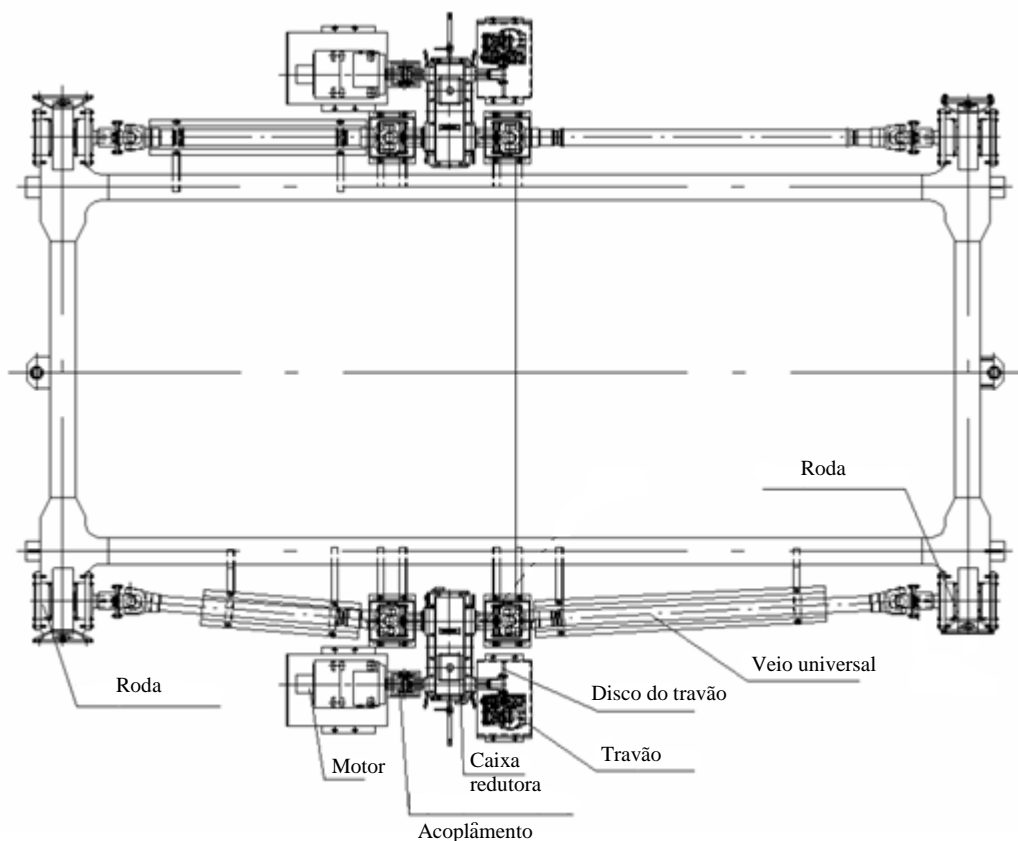


Figura 4.10 - Sistema Trolley da RTG da marca B.

Assim como o mecanismo de Hoist, o mecanismo de Trolley também possui dispositivos de protecção, como:

- Abrandamento da velocidade quando o Carro de Trolley se aproxima de cada uma das extremidades.
- Paragem do mecanismo quando é atingido o limite de posição de cada uma das extremidades, através de fins de curso.
- Existência de amortecedores, em cada extremidade, em caso de falha dos restantes dispositivos de protecção.

De forma a controlar a posição e velocidade de deslocamento do Carro de Trolley, os motores estão equipados com *encoders*.

4.3 Gantry

O sistema Gantry é responsável por um dos três movimentos principais da RTG. Este movimento consiste na deslocação de toda a estrutura da RTG. O mecanismo que efectua estas operações denomina-se *bogies* (figura 4.11).



Figura 4.11 – *Bogies*.

Assim como no sistema Hoist e Trolley, o sistema Gantry também possui *encoders* acoplados ao motor, de forma a transmitirem a velocidade a que a RTG se desloca.

Durante a sua utilização, a RTG pode efectuar três movimentos distintos:

- Movimento de deslocação longitudinal “gantry” – Os *bogies* encontram-se alinhados e bloqueados para que o sentido de deslocamento seja perpendicular às duas vigas principais, como representado na figura 4.12.

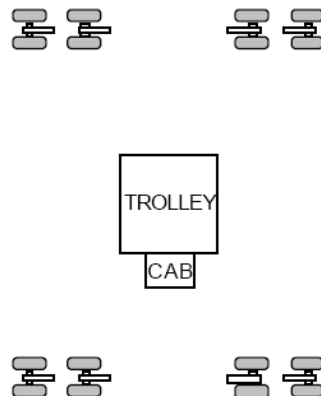


Figura 4.12 - Movimento de deslocação longitudinal “gantry”.

- Movimento de deslocação transversal “cross” – Os *bogies* encontram-se alinhados e bloqueados para que o sentido de deslocamento seja paralelo às duas vigas principais, como indicado na figura 4.13.

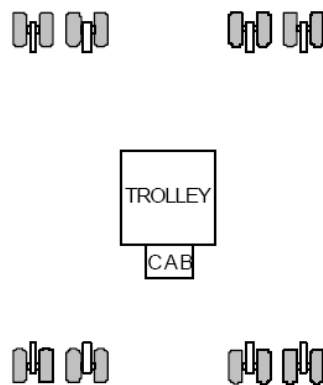


Figura 4.13 - Movimento de deslocação transversal "cross".

- Movimento de rotação – Os *bogies* encontram-se alinhados e bloqueados para que o sentido de deslocamento seja à volta de uma circunferência imaginária, centrados no meio da RTG, representados na figura 4.14.

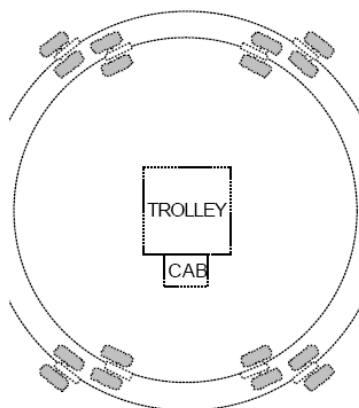


Figura 4.14 - Movimento de rotação da RTG.

No que respeita ao modo de rotação das rodas existem diferenças entre as marcas. As RTG da marca A utilizam uma cavilha de travamento mecânica, que encaixa nos furos da placa de engate (figura 4.15), consoante o movimento a efectuar (gantry, cross ou rotação), depois dos motores individuais efectuarem a rotação das rodas.

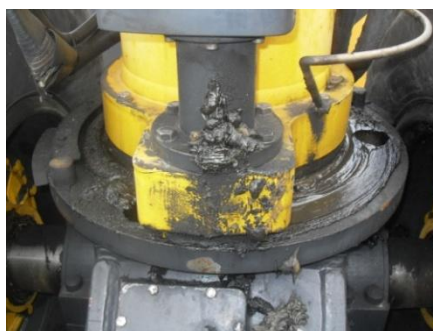


Figura 4.15 - Cavilha de travamento encaixada na placa de engate.

Relativamente às RTG da marca B, a rotação das rodas é efectuada com o recurso dos motores sem-fim, que por sua vez accionam o *Turn Wheel* (figura 4.16), executando desta forma a rotação.



Figura 4.16 - *Turn Wheel*.

4.4 Grupo Gerador

O Grupo Gerador é o sistema responsável pelo fornecimento de energia para todos os mecanismos de movimentação presentes na RTG. Dentro deste grupo existem dois grandes componentes, o gerador (figura 4.17 (a)) e motor diesel (figura 4.17 (b)). O motor diesel alimenta o gerador, que por sua vez converte a energia mecânica em energia eléctrica. O accionamento, aceleração ou paragem do Grupo Gerador é efectuado na Cabine do operador.

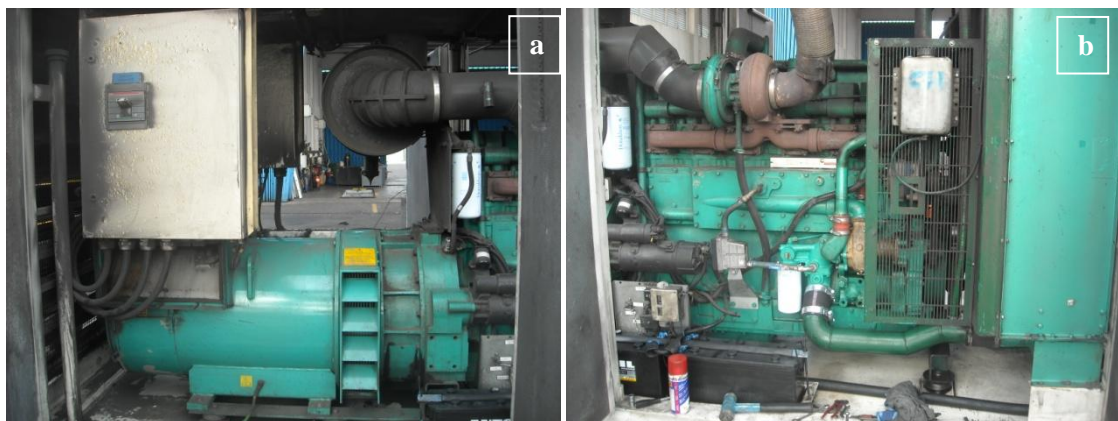


Figura 4.17 - Gerador (a) e motor diesel (b).

4.5 Headblock

O sistema Headblock, representado na figura 4.18, faz a ligação entre os cabos de aço e o Spreader. Este sistema é composto por uma estrutura metálica, cesto de cabo, caixa de ferragens, roldanas, escada, caixa de junção, mecanismo de *twistlocks*, entre

outros. O Headblock é acoplado ao Spreader através do mecanismo de *twistlocks*, e quando este encaixa no Spreader os *twistlocks* trancam, unindo os dois sistemas. Existe um cabo entre o Headblock e o Carro de Trolley que alimenta e controla o funcionamento do Spreader.



Figura 4.18 - Sistema Headblock.

4.6 Iluminação

O sistema Iluminação consiste em todos os holofotes, projectores, luminárias e outros dispositivos luminosos presentes na RTG. Os projectores que se encontram anexados às vigas principais (figura 4.19) são fundamentais para o seu funcionamento, quando há ausência de luz natural. A RTG tem holofotes a iluminar as linhas de orientação dos PM's – *truck lines*. Ao longo das escadas e plataformas que compõem a RTG existem diversos dispositivos luminosos para clarear o caminho.

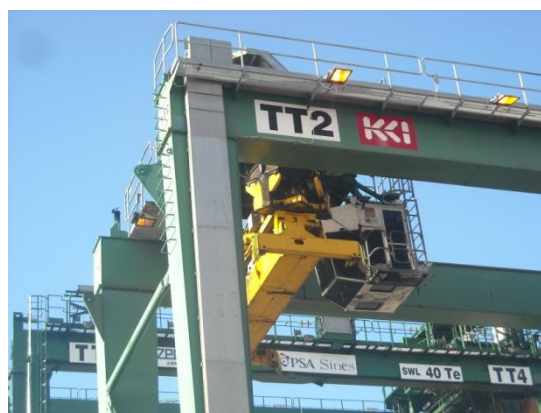


Figura 4.19 - Projectores anexados às vigas principais.

4.7 Sala Eléctrica

O aparelho de comutação e o equipamento de controlo do motor transistorizado localiza-se na Sala Eléctrica (figura 4.20). Esta sala acolhe inversores do sistema Gantry, Hoist e Trolley, assim como possui um dispositivo de corte geral de energia. Tal como no sistema Quadro Eléctrico, a Sala Eléctrica também tem um PLC *slave*. Esta sala encontra-se equipada com ar condicionado para remover o calor emitido pelo equipamento.



Figura 4.20 - Sala Eléctrica.

4.8 Spreader

O Spreader é uma unidade de movimentação de contentores de dimensão standard. A sua concepção inclui quatro *flippers*, nos quatro cantos do Spreader, servindo de guias para encaixar na parte superior dos contentores. Após se encontrarem alinhados, os quatro *twistlocks* engatam o Spreader, unindo-o ao contentor. O comprimento do Spreader pode variar entre 20, 40 ou 45 pés, consoante as dimensões do contentor a movimentar. Todas as funções do Spreader são efectuadas na Cabine do operador. O sistema de abertura do Spreader pode ser eléctrico ou hidráulico.

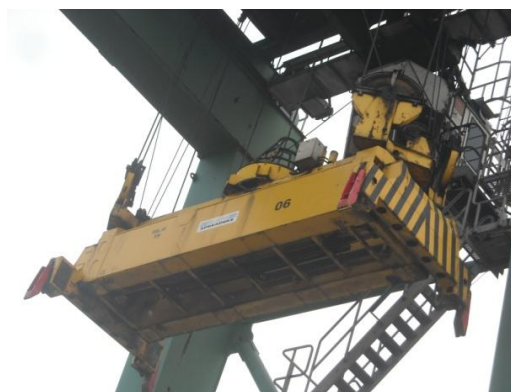


Figura 4.21 – Spreader.

Apesar do Spreader ser um componente fulcral para a movimentação de contentores, e de ser um sistema que apresenta um número de falhas significativo, neste estudo não vai ser considerado. A razão de não ser incluído deve-se ao facto de se tratar de um sistema móvel e flexível, podendo qualquer Spreader ser incorporado em qualquer RTG. Desta forma, não é possível interligar um determinado Spreader a uma RTG, sendo erróneo a inclusão deste sistema no estudo deste tipo de equipamentos.

Capítulo 5

Análise estatística global das RTG da marca A

O presente capítulo tem como objectivo o estudo do estado actual das RTG da marca A, sob o ponto de vista de fiabilidade e função de risco, assim como pretende compreender a evolução da taxa de falhas destes equipamentos, e consequentemente entender quais são os sistemas que contribuem para o aumento da função de risco. É também realizado um estudo pormenorizado de cada sistema, realçando a origem / causa das falhas ocorridas. De referir que o conjunto de RTG da marca A descritos ao longo deste capítulo são referenciados como RTG01, RTG02 e RTG03.

Com o objectivo de entender o comportamento da taxa de falhas das RTG da marca A separou-se o período de estudo inicial (1 de Outubro de 2007 a 31 de Outubro de 2010) em dois novos períodos. O primeiro consiste entre 1 Outubro de 2007 e 30 de Abril de 2009, e o segundo período entre 1 de Maio de 2009 a 31 de Outubro de 2010.

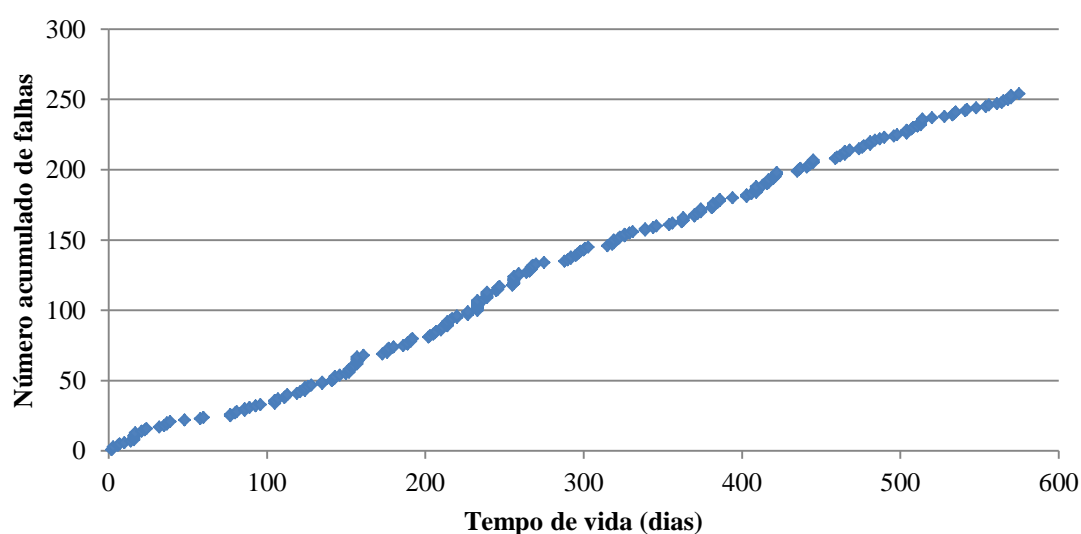


Figura 5.1 - Número acumulado de falhas das RTG da marca A em função do tempo de vida, no período 01/10/07 – 30/04/09.

Pela observação da figura 5.1 verifica-se que não existe grande variação da taxa de falhas ao longo do tempo de vida. Para estudar esta variação recorre-se ao teste de *Laplace* que, para um nível de significância de 10%, conclui-se que a taxa de falhas é constante, uma vez que o valor de estatística de teste obtido é inferior ao valor de referência ($z_{0,05}$), $z_0 = -0,39 < z_{0,05} = 1,64$.

Dado que a taxa de falhas é constante é possível calcular o MTBF, utilizando a expressão 2.12, tendo-se obtido que existe uma falha a cada 2,3 dias.

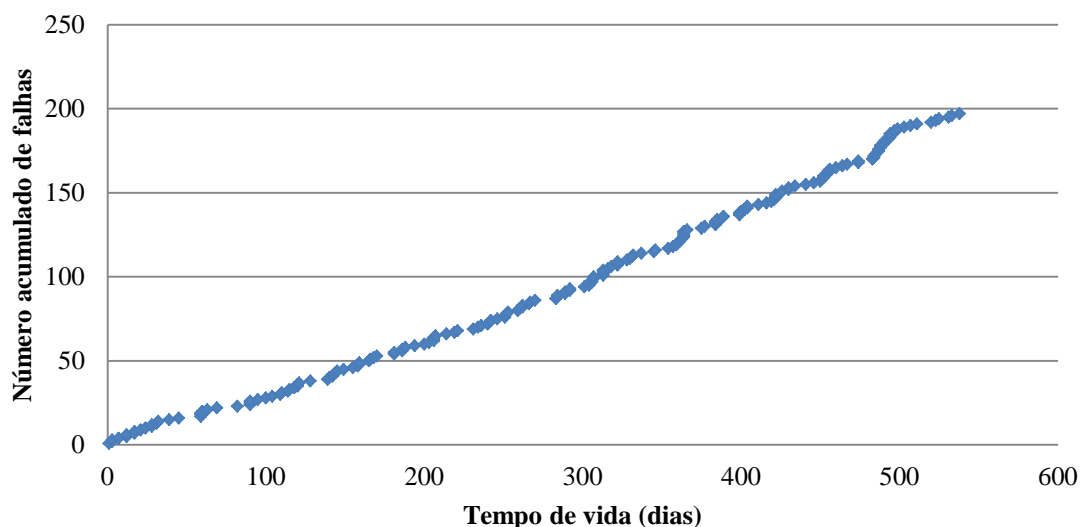


Figura 5.2 - Número acumulado de falhas das RTG da marca A em função do tempo de vida, no período 01/05/09 – 31/10/10.

Relativamente ao segundo período em estudo, analisando a figura 5.2, verifica-se que a taxa de falhas mantém-se sensivelmente constante até aos 480 dias, apresentado um ligeiro aumento a partir dessa data. Realizando o teste de *Laplace*, para um nível de significância de 10%, obteve-se que o valor de estatística de teste $z_0 = 1,50 < z_{0,05} = 1,64$, então a taxa de falhas apresenta uma tendência constante. Dada esta tendência, o MTBF obtido para este período é de 2,7, ou seja, existe uma falha nos equipamentos a cada 2,7 dias.

Apesar dos valores do MTBF serem bastante similares entre os dois períodos, existem algumas elucidações que se devem realçar:

- Um aspecto fundamental prende-se com a fidedignidade dos dados, uma vez que estes são mais fiáveis no segundo período em estudo.
- O valor de estatística de teste ($z_0 = 1,50$), no segundo período, encontra-se próximo de $z_{0,05}$ (1,64), concluindo que apesar do sistema das RTG da marca A apresentar uma taxa de falhas constante, esta poderá tender para uma taxa de falhas crescente. Este facto é visível na figura 5.2, a partir do dia 480.

Uma das ferramentas amplamente utilizadas quando se efectua uma análise estatística sobre a fiabilidade de um sistema é o diagrama de Pareto. Através desta representação esquemática é possível descobrir quais os sistemas ou subsistemas que mais significativamente contribuem para o incorrecto funcionamento dos equipamentos.

Deve-se salientar que a partir deste ponto, qualquer estudo envolvendo as RTG da marca A envolvem sempre o período de estudo global, ou seja, de 1 de Outubro de 2007 a 31 de Outubro de 2010.

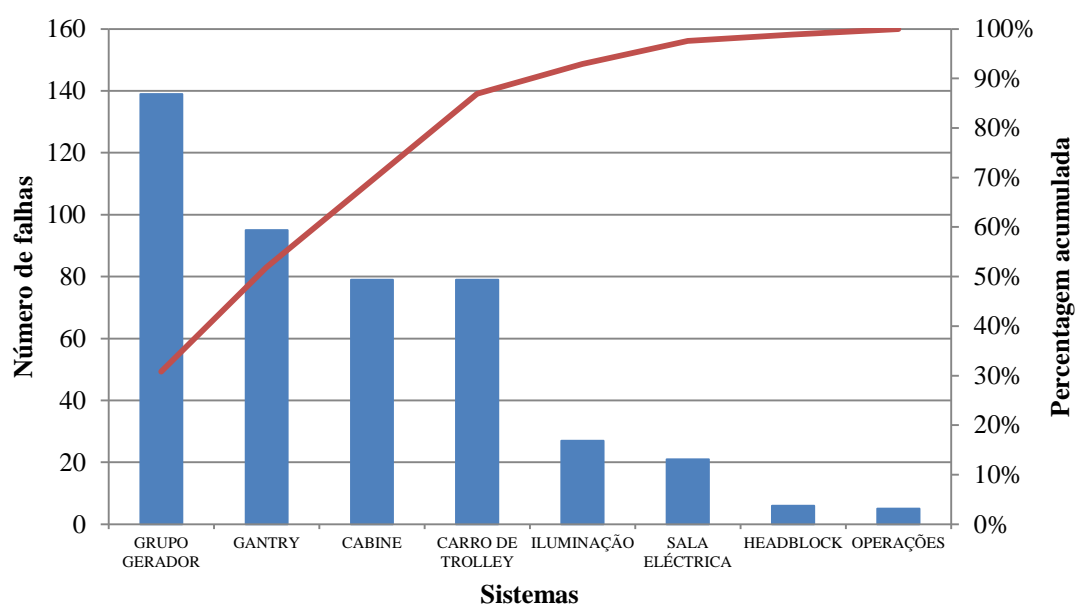


Figura 5.3 - Diagrama de Pareto - Número de Falhas.

Da observação da figura 5.3 conclui-se que o sistema que mais significativamente contribui para as falhas ocorridas é o Grupo Gerador, com 139 falhas – representando 30,8% das falhas totais. No entanto, esta conclusão pode ludibriar a realidade, uma vez que não se pode apenas ter em consideração o factor quantitativo, mas deve-se prestar também atenção ao tempo de paragem originado por cada sistema.

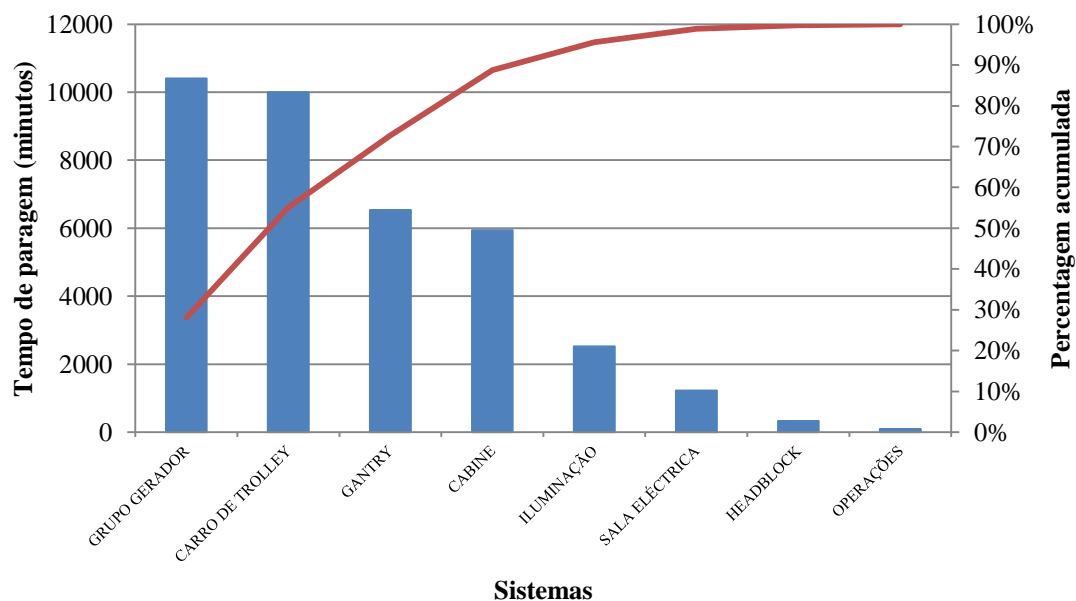


Figura 5.4 - Diagrama de Pareto – Tempo Total de Paragem.

Recorrendo ao estudo do tempo total de paragem, figura 5.4, o Grupo Gerador apresenta-se em primeiro lugar com o maior tempo gasto em intervenção. Pode-se afirmar que este sistema é o mais crítico em relação às RTG da marca A.

Apesar do Grupo Gerador demonstrar ser o sistema mais crítico, existem outros que merecem atenção. Desta forma, o estudo e análise dos sistemas Grupo Gerador, Carro de Trolley, Gantry e Cabine permitem que sejam apuradas 87% das falhas neste tipo de equipamentos.

5.1 Análise das falhas de cada sistema

Com o objectivo de realizar um plano de manutenção preventiva eficaz é fundamental encontrar as origens e razões das falhas ocorridas nos equipamentos. Neste subcapítulo será efectuada uma análise das falhas de cada um dos sistemas que compõem as RTG da marca A.

Uma vez que se trata do sistema mais crítico, em primeiro lugar efectua-se uma análise ao sistema Grupo Gerador.

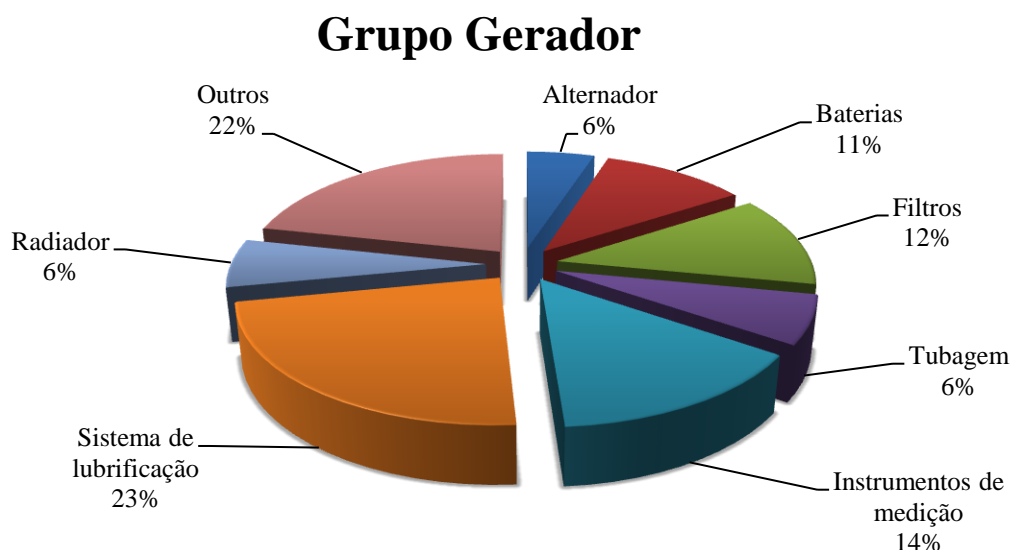


Figura 5.5 - Origem das falhas do Grupo Gerador.

Quadro 5.1 - Origem das falhas do Grupo Gerador.

Grupo	Número de falhas	Percentagem	Descrição / Causa
Sistema de lubrificação	32	23%	Nível de óleo baixo / Filtros
Outros	30	22%	Bomba de água; turbo compressor; injectores, entre outros.
Instrumentos de medição	20	14%	Manómetro de pressão do óleo; sonda de temperatura do gerador, entre outros.
Filtros	17	12%	Filtros bloqueados.
Baterias	15	11%	Baterias
Radiador	9	6%	Radiador
Tubagem	9	6%	Fugas em tubagens
Alternador	7	6%	Alternador
Total	139	100%	

Observando a figura 5.5 e quadro 5.1 verifica-se que uma parte significativa das falhas ocorrem no sistema de lubrificação, mais concretamente por falta de óleo (23%). O segundo grupo mais crítico é denominado por “outros”, pois nesta categoria existem falhas relacionadas com injectores, bomba de água, turbo compressor, entre outras. As falhas relacionadas com os instrumentos de medição podem provocar indirectamente a falha do motor ou gerador, pois se o manómetro de pressão do óleo ou da sonda de temperatura do gerador falha, o grupo gerador pode parar. As restantes falhas devem-se a problemas nos filtros, baterias, fugas em tubagens, alternador e radiador.

Segundo a figura 5.3 o sistema Carro de Trolley encontra-se na quarta posição no número de falhas, em igualdade com o sistema Cabine. No entanto, de acordo com a

figura 5.4, é o segundo em termos de tempo de paragem e é, conjuntamente com o Grupo Gerador, aquele que mais peso tem nas falhas ocorridas nas RTG da marca A.

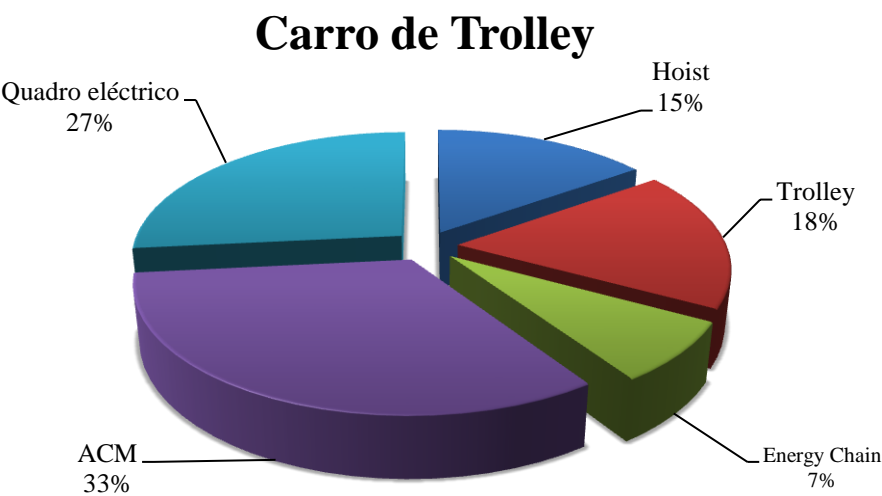


Figura 5.6- Origem das falhas do Carro de Trolley.

Quadro 5.2 - Origem das falhas do Carro de Trolley - Nível 1.

Subsistema	Número de falhas	Percentagem
ACM	26	33%
Quadro eléctrico	21	27%
Trolley	14	18%
Hoist	12	15%
Energy Chain	6	7%
Total	79	100%

Quadro 5.3 - Origem das falhas do Carro de Trolley – Nível 2.

Subsistema	Grupo	Número de falhas	Percentagem	Descrição / Causa
ACM	Inversor	17	65%	Falhas; ventoinhas
	Cabo de aço	9	35%	Prisão dos cabos; Danos
Quadro eléctrico	Travão	20	95%	Contactora do hoist
	Carta	1	5%	Carta queimada
Trolley	Encoder	9	64%	Perda de posição
	Sensores	5	36%	Descalibração
Hoist	Loadcell	7	58%	Loadcells danificadas
	Inversor	4	33%	Falhas
	Cabo de aço	1	9%	Danos
Energy Chain	Diversas	6	100%	Enrolador do cabo eléctrico; Tambor

Observando a figura 5.6 e quadro 5.2, conclui-se que, no sistema Carro de Trolley, o dispositivo ACM é aquele que mais contribui para as falhas. Examinando a sua origem, e de acordo com quadro 5.3, conclui-se que 65% das falhas são provenientes dos inversores, e que 35% derivam de problemas com os cabos de aço, como prisão em roldanas, folga, entre outros.

O subsistema Quadro Eléctrico, de acordo com o quadro 5.2, é o segundo maior responsável por falhas nos equipamentos. Este possui uma particularidade, pois 20 das 21 falhas, ou seja 95%, são relativas aos contactores de travão do hoist. Estes componentes falhavam aproximadamente de 3 em 3 meses, mas após os técnicos responsáveis pela manutenção efectuarem uma alteração eléctrica (alteração dos contactos eléctricos de pequena para grande potência), aumentaram a durabilidade destes componentes. A falha referente à carta queimada, aquela que representa 5%, é um acontecimento isolado, pois não é com relativa frequência que ocorre um problema deste género. Relativamente às falhas do subsistema Trolley, estas dividem-se em 2 grupos. Um grupo encontra-se directamente relacionado com problemas no *encoder*, e o outro tem a ver com os sensores presentes no carril do trolley, pois quando os sensores estão danificados ou descalibrados ocorre uma falha e o equipamento pára. Mais de metade das falhas ocorridas no subsistema Hoist são relativas às *loadcells*. Problemas com os inversores representam 33% das falhas, enquanto que apenas ocorreu uma falha devido a danos no cabo de aço (9%). A Energy Chain é um subsistema que por norma não tem registos de muitas falhas, no entanto estas implicam directamente a paragem do equipamento, logo não devem ser desprezadas, representando 7% das falhas totais ocorridas no sistema Carro de Trolley.

O sistema de Gantry é, segundo a figura 5.3, o segundo maior responsável pelo número de falhas ocorridas nas RTG da marca A, ocupando, em concordância com a figura 5.4, o terceiro posto relativamente ao tempo de paragem registado.

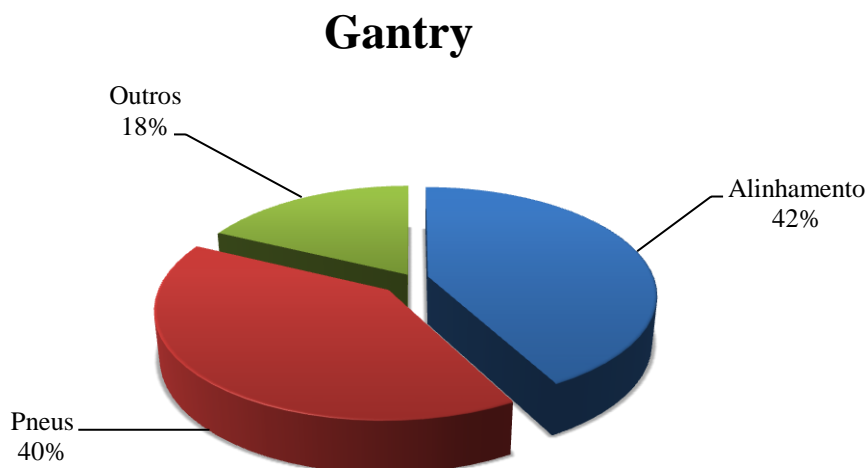


Figura 5.7 - Origem das falhas do Gantry.

As falhas relativas ao sistema Gantry estão divididas em 3 grupos, como demonstrado na figura 5.7. As falhas categorizadas como “alinhamento”, representando 42% das falhas totais, são falhas que ocorrem devido ao desalinhamento dos *bogies*. Estes erros acontecem com uma frequência elevada. Para cada posição de movimentação do equipamento (gantry, cross ou rotação) existe um ângulo associado, em que este é obtido através da rotação do *locking pin* (representado na figura 5.8) que vai encaixar no prato dos *bogies*, após os motores efectuarem a rotação das rodas. Quando é realizada a rotação, por vezes a posição fica fora do intervalo angular esperado, devido ao atrito entre os pneus e o pavimento, dando origem a uma falha e consequente paragem do equipamento.



Figura 5.8- *Locking pin* engatado no prato dos *bogies*.

O segundo grupo com maior número de falhas relativamente ao sistema Gantry está directamente relacionado com os pneus, sendo que estes representam 40% das falhas totais ocorridas neste sistema. Os restantes 18% de problemas, categorizados como “outros”, estão ligados a problemas de fins de curso, problemas com os inversores ou caixas redutoras.

Sob o ponto de vista quantitativo, o sistema Cabine possui o mesmo número de falhas que o sistema Carro de Trolley, no entanto, considerando o factor tempo de paragem este demonstra ser inferior.

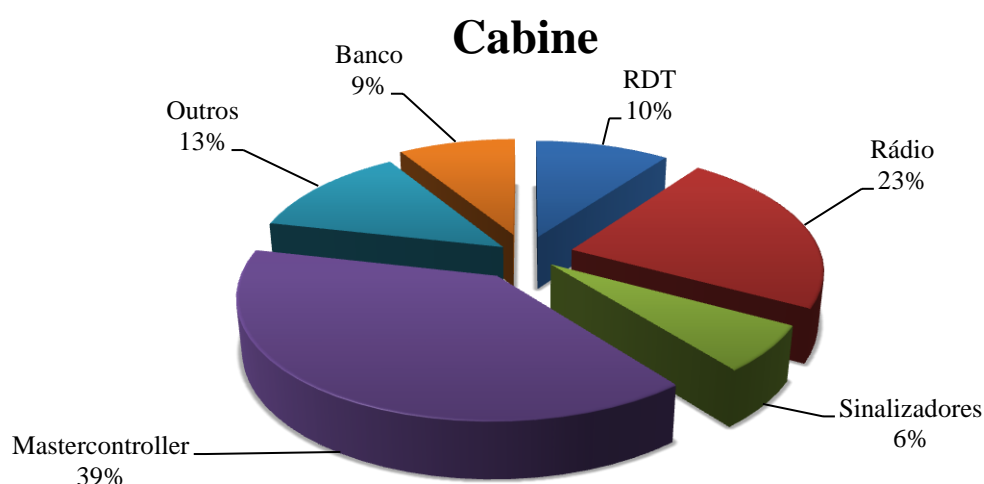


Figura 5.9 - Origem das falhas da Cabine.

Quadro 5.4 - Origem das falhas da Cabine.

Grupo	Número de falhas	Percentagem	Descrição / Causa
Mastercontroller	31	39%	Potenciómetro; Microswitch; Encravamentos
Rádio	18	23%	Bloqueios
Outros	10	13%	Escovas limpa vidros; Portão
RDT	8	10%	Falhas
Banco	7	9%	Mecanismo de rotação
Sinalizadores	5	6%	Painel de consola
Total	79	100%	

Analisando a figura 5.9 e quadro 5.4, conclui-se que o maior responsável pelas falhas neste sistema é o *mastercontroller* devido a problemas com potenciómetros, sendo este representado na figura 5.10 (a), *micro switch* de compensações (figura 5.10 (b)) encravamentos, entre outros.

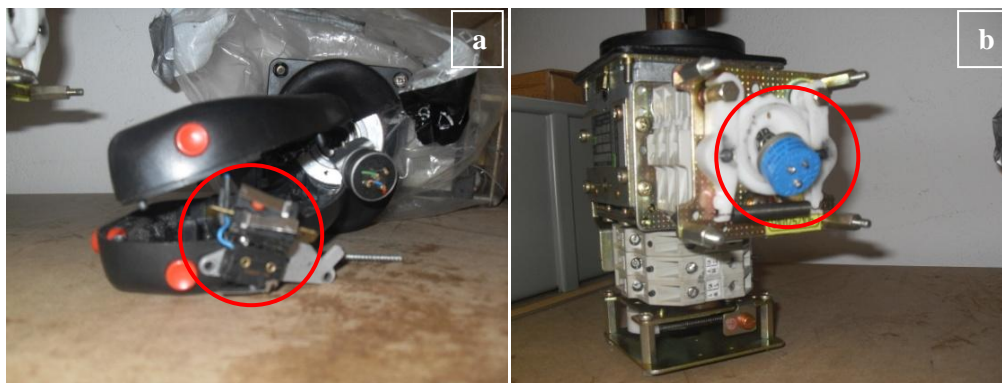


Figura 5.10 - *Micro switch* de compensações (a) e Potenciómetro (b).

As falhas referentes ao grupo “rádio” também são importantes pois, apesar de não perturbar o funcionamento do equipamento, a sua ausência dificulta a comunicação dos operadores com a manutenção e com os operadores dos PM. As falhas relativas ao “RDT” (10%) implicam indirectamente uma paragem na máquina, uma vez que este aparelho controla os contentores que devem ser movimentados, assim como a sua localização de armazenagem. As falhas categorizadas como sinalizadores são relativas à iluminação na consola do operador. Se existir algum problema com estes sinalizadores o operador não consegue saber se o procedimento que está a efectuar é o correcto. Relativamente às falhas do grupo banco, mesmo não afectando directamente o funcionamento da RTG, deve ser dada autonomia ao operador para se movimentar livremente no seu posto de trabalho. As falhas categorizadas como “outros” estão relacionadas com problemas no portão de acesso à cabine (quando este não se encontra fechado não permite efectuar o movimento de trolley – sendo uma das medidas de segurança), infiltrações na cabine, entre outros.

Tal como referido anteriormente, através do estudo dos sistemas Carro de Trolley, Grupo Gerador, Gantry e Cabine, é possível obter as principais causas de falhas nas RTG da marca A, uma vez que o somatório das falhas destes sistemas corresponde a 87 % das falhas totais ocorridas neste tipo de equipamento.

As falhas relativas ao sistema Iluminação não motivam a paragem do equipamento nem põem em causa o funcionamento da RTG, dado que normalmente este facto está associado a uma falha de um holofote ou projector presente na estrutura. Como existem mais projectores e holofotes, então o equipamento pode operar sem dificuldades até ser realizada a manutenção. Apesar de representarem 6,0 % das falhas, não se vai considerar o sistema Iluminação como fundamental neste estudo.

As falhas respeitantes ao sistema Sala Eléctrica e Headblock, representando respectivamente 4,6 e 1,3% das falhas totais, serão consideradas secundárias no universo de estudo efectuado.

As falhas categorizadas como Operações, que representam apenas 1,1% das falhas totais registadas, ocorrem esporadicamente quando o operador tenta passar com um contentor por cima de quatro contentores empilhados. Por vezes, quando o limite máximo de altura é atingido ocorre uma falha e a RTG pára o seu funcionamento. Dada a sua pequena influência no conjunto de falhas este não será considerado no estudo realizado.

5.2 Análise individual das RTG

A análise da sequência de falhas é um aspecto fundamental para avaliar o comportamento global de um equipamento ou conjunto de equipamentos. Assim, após realizado o estudo sobre os sistemas mais críticos e a origem das falhas é necessário efectuar um estudo individual de cada equipamento, com o objectivo de descobrir o equipamento mais preocupante em termos fiáveis, através de uma análise ao padrão de falhas, ou seja, analisando a taxa de ocorrência de falhas (*ROCOF – rate of occurrence of failures*).

A figura 5.11 apresenta o padrão de falhas de cada uma das RTG da marca A.

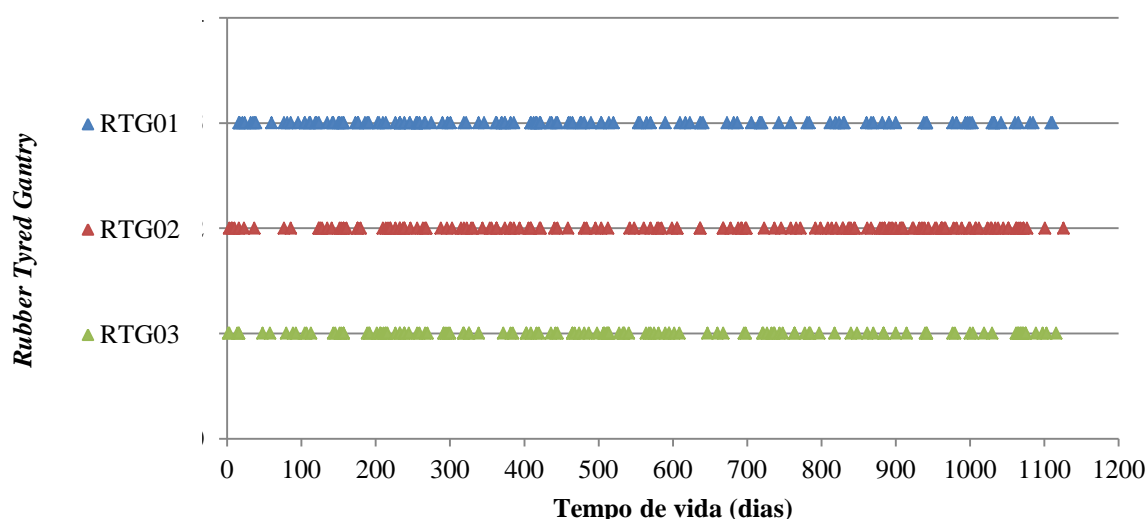


Figura 5.11- Padrão de falhas de cada uma das RTG da marca A.

A quantidade de falhas não é directamente proporcional à criticidade do sistema, sendo necessário recorrer a outros indicadores, como o Teste de *Laplace*, para uma análise da evolução da taxa de falhas do equipamento.

Assim realizou-se o Teste de *Laplace* às RTG da marca A, aplicando a expressão 2.9 para obter o valor da estatística de teste z_0 , tendo-se alcançado os resultados resumidos no quadro 5.5, e descritos no Anexo II.

Quadro 5.5 - Resultado do teste de Laplace para as RTG da marca A, MTBF e CMTBF.

RTG	z_0	Taxa de falhas	MTBF	CMTBF
01	-3,33	Decrescente	-	9,30
02	1,55	Constante	6,80	-
03	-0,96	Constante	7,97	-

Analizando os resultados do quadro 5.5, verifica-se que a RTG01 apresenta, para um nível de significância de 10%, um valor de estatística $z_0 = -3,33$, inferior a $z_{0,05} = 1,64$ pelo que se rejeita a hipótese nula (H_0 : Segue um *PPH*). Ao rejeitar a hipótese nula significa que a taxa de falhas é não constante, e uma vez que $z_0 = -3,33 < z_{0,05} = -1,64$, então a RTG01 possui uma taxa de falhas decrescente.

A RTG01 apresenta uma taxa de falhas decrescente, significando que a fiabilidade do sistema encontra-se a melhorar com o passar do tempo. Como o equipamento apresenta uma taxa de falhas decrescente então recorre-se ao modelo de Crow, ou também denominado modelo de “fiabilidade crescente”.

O intervalo de tempo consiste no período em estudo inicial (1 de Outubro de 2007 a 31 de Outubro de 2010), pelo que $\tau = 1126$ dias. Durante este período foram registadas 149 falhas no equipamento.

A estimação analítica é obtida através do método da máxima verosimilhança, no qual se obtêm, de acordo com as expressões (2.19) e (2.20), $\hat{\beta}^* = 0,813$ e $\hat{\lambda}^* = 0,494$. Assim, segundo o modelo de Crow a taxa de falhas será representada do seguinte modo, obtido da expressão (2.18),

$$\rho(1126) = \lambda^* \beta^* \tau^{(\beta^*-1)} = 0,401 \times 1126^{-0,187}$$

Dado que se trata de uma taxa de falhas decrescente, não faz sentido calcular o *MTBF*, mas sim o tempo médio cumulativo entre falhas (*CMTBF*), que através da expressão (2.21), obtêm-se o seguinte resultado,

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} = 9,30 \text{ dias}$$

A RTG01 apresenta um *CMTBF* de 9,3 dias, sendo que aproximadamente a cada 10 dias acontece uma falha neste equipamento.

De forma a compreender a natureza deste resultado é relevante efectuar uma análise sob o ponto de vista prático.

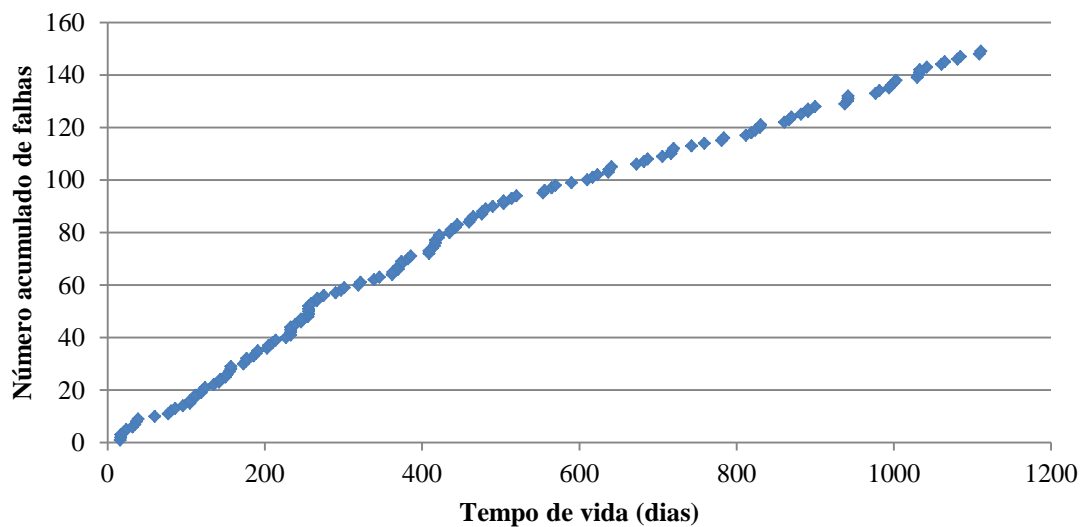


Figura 5.12- Número acumulado de falhas da RTG01 ao longo do tempo de vida.

Observando a figura 5.12, verifica-se que até aos 550 dias a taxa de falhas é sensivelmente crescente, sendo que a partir desta data a taxa de falhas tende para constante. Para entender a evolução das falhas considerou-se dois períodos distintos. O primeiro período compreende Outubro de 2007 a Março de 2009, e o segundo será de Abril de 2009 a Outubro de 2010.

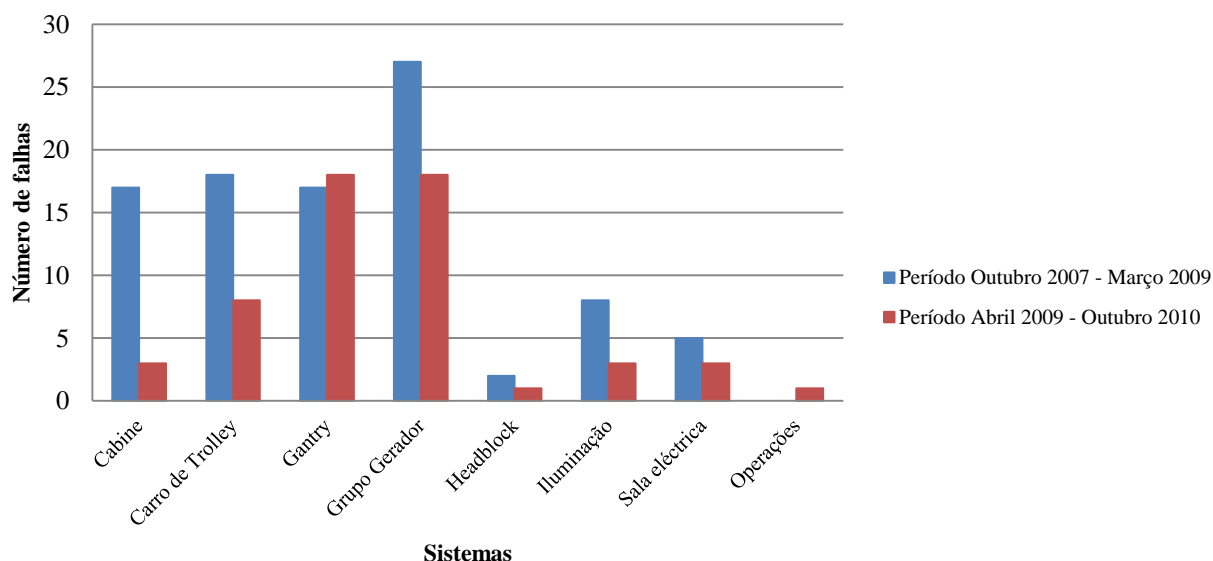


Figura 5.13 - Relação das falhas entre os diferentes períodos da RTG01.

De acordo com a figura 5.13, a existência de uma taxa de falhas decrescente na RTG 01 deve-se, em grande parte à diminuição das falhas dos sistemas Cabine, Carro de Trolley e Grupo Gerador.

Relativamente às falhas registadas no sistema Cabine verifica-se um decréscimo de 17 para 3 falhas, do primeiro para o segundo período, por consequência da substituição do rádio e também à beneficiação do portão do trolley. No sistema Carro de Trolley houve uma redução de 18 para 8 falhas, devido em grande parte à beneficiação realizada pelos técnicos da manutenção da PSA no subsistema Quadro Eléctrico. Esta melhoria consistiu na alteração dos contactos eléctricos do contactor do hoist (relé de potência) de pequena para grande potência.

As falhas no primeiro período do Grupo Gerador tiveram origem em problemas com o turbo compressor, alternador, bomba injectora, injectores, entre outros. No segundo período, a maioria dos problemas deveu-se a falhas de manutenção como baixo nível de óleo, baixo nível de água nas baterias, ou problemas nos filtros. Desta forma pode-se afirmar que as falhas registadas no segundo período apenas provêm de falta de manutenção, em oposição ao primeiro período, no qual a sua maioria teve origem em falhas de componentes do sistema.

Efectuando o mesmo raciocínio para as restantes RTG, verifica-se que as RTG02 e 03 possuem uma taxa de falhas constante, uma vez que as estatísticas de teste dos 2 equipamentos são inferiores a $z_{0,05} = 1,64$. Sendo a taxa de falhas constante então

é relevante calcular o MTBF de cada equipamento, tendo-se obtido que a RTG01 apresenta uma falha a cada 6,80 dias e verifica-se a ocorrência de uma falha a cada 7,98 dias na RTG02.

Uma das razões pela qual a RTG01 apresenta uma taxa de falhas decrescente é, como referido anteriormente, resultado da beneficiação dos contactores do hoist. No entanto, deve-se salientar que esta alteração foi efectuada em todas as RTG da marca A.

Outro aspecto importante aquando a análise dos dados prende-se com a fidedignidade destes, uma vez que são mais fiáveis no segundo período do que no primeiro, pelo qual existe um erro associado. É nesta condição que se deve ter especial atenção à RTG02, pois apesar do resultado obtido, de acordo com o quadro 5.5 demonstrar que este equipamento segue uma tendência de taxa de falhas constante, o valor estatística calculado encontra-se muito próximo do valor superior da distribuição normal $z_{0,05} = 1,64$, estando no limite entre a taxa de falhas constante e crescente.

Capítulo 6

Análise estatística global das RTG da marca B

Este capítulo tem como propósito a análise do estado actual das RTG da marca B. Tal como no capítulo anterior, esta análise é realizada sob o ponto de vista de fiabilidade, pretendendo-se descobrir quais os sistemas que mais contribuem para a função de risco. É igualmente efectuado um estudo aos componentes de cada sistema, de forma a revelar as origens / causas das falhas. De salientar que o conjunto de RTG da marca B, descritos ao longo deste capítulo são referenciados como RTG04, RTG05 e RTG06.

O aumento do fluxo de carga contentorizada no terminal levou à aquisição de novas RTG. As RTG da marca B entraram em funcionamento no terminal depois das RTG da marca A. Assim, o período de estudo compreender-se-á entre o seu início de funcionamento até ao fim do estudo, ou seja entre 1 de Maio de 2009 e 31 de Outubro de 2010.

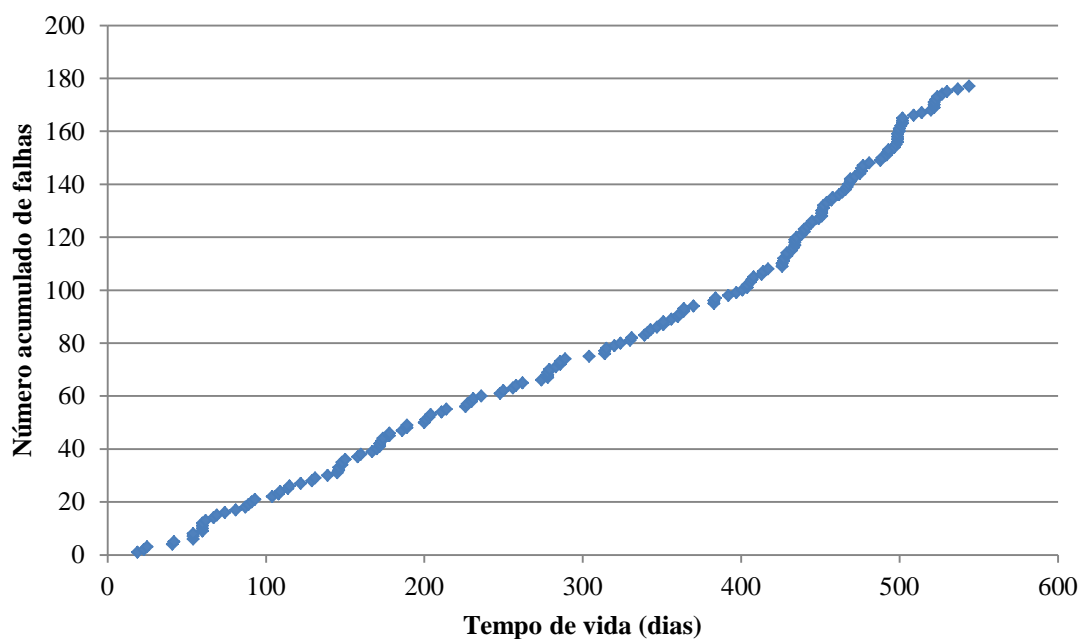


Figura 6.1 - Número acumulado de falhas das RTG da marca B em função do tempo de vida.

Analisando a figura 6.1, verifica-se que este conjunto de equipamentos apresenta uma tendência de falhas constante até aos 400 dias, alternando para uma taxa de falhas crescente a partir dessa data. Recorrendo ao Teste de *Laplace*, para um nível de significância de 10%, obtêm-se que o valor de estatística $z_0 = 3,97 > z_{0,05} = 1,64$, confirmando que o conjunto das RTG da marca B apresenta uma taxa de falhas crescente, ou seja, a sua fiabilidade está a diminuir ao longo do tempo.

O facto da taxa de falhas ser crescente deve-se essencialmente ao aumento do número de falhas num curto espaço de tempo. Nos primeiro 400 dias ocorreram 99 falhas, enquanto que dessa data até ao fim do estudo, no restantes 158 dias, ocorreram 78 falhas.

Existem alguns factores responsáveis pelo comportamento demonstrado das RTG da marca B ao longo do período em estudo. Um desses factores está relacionado com o facto de ter existido formação e um período de adaptação aos equipamentos por parte dos operadores, pois estes possuem características próprias e um modo de funcionamento diferente das RTG da marca A. A chegada de um navio não implica que as 6 RTG entrem em operação, sendo este número variável de acordo com a quantidade de contentores a movimentar. Nesta óptica, os operadores demonstravam alguma relutância em utilizar as RTG da marca B, sendo que a sua preferência recaía sobre os equipamentos da marca A. A utilização das RTG da marca B começou a ganhar expressão devido ao aumento do fluxo de carga contentorizada no terminal portuário.

Tal como referido no capítulo anterior, para analisar os sistemas ou subsistemas que mais contribuem para as falhas recorre-se a diagramas de Pareto.

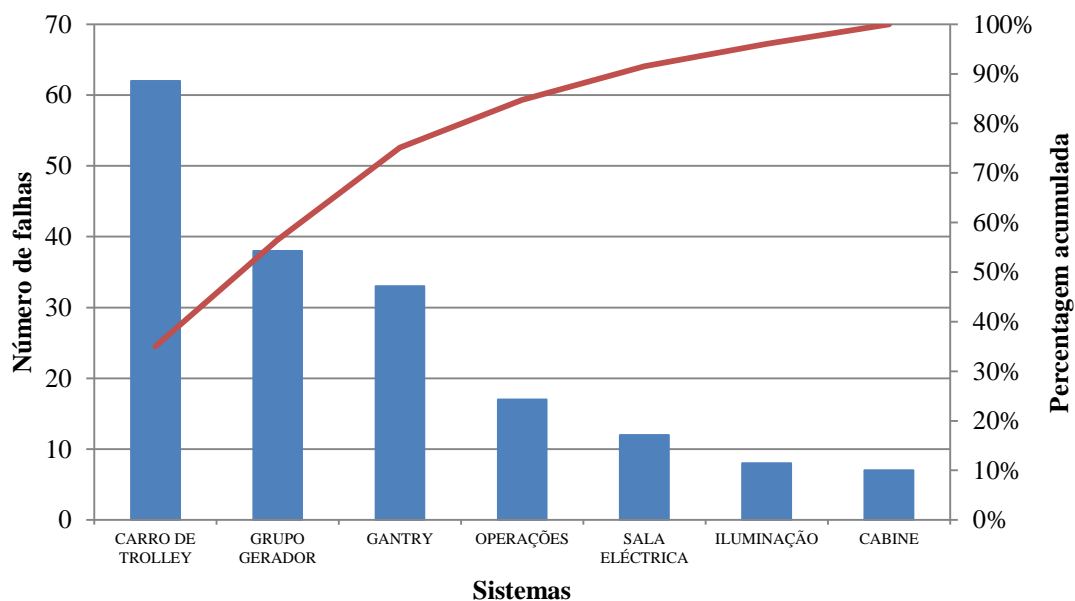


Figura 6.2 - Diagrama de Pareto - Número de falhas.

A partir da figura 6.2 conclui-se que o sistema que mais significativamente contribui para as falhas registadas nas RTG da marca B é o Carro de Trolley, com 62 falhas, representado 35 % das falhas totais. No entanto, como referido previamente, deve-se ter em conta também qual é o sistema responsável pelo maior tempo de inactividade dos equipamentos.

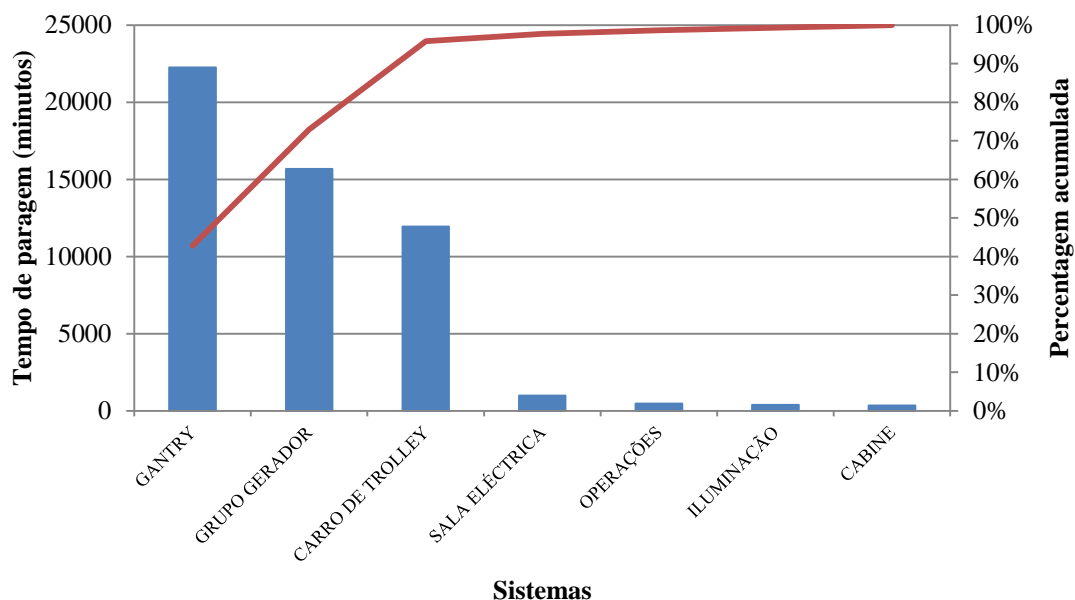


Figura 6.3 - Diagrama de Pareto – Tempo Total de Paragem.

O sistema Gantry é, de acordo com a figura 6.3, aquele que apresenta o maior índice de tempo de paragem dos equipamentos da marca B, sendo o terceiro relativamente à quantidade de falhas registadas. Por outro lado, o sistema Carro de Trolley ocupa o primeiro lugar na quantidade de falhas registadas, mas é terceiro no tempo dispendido por intervenção. Assim, o estudo e análise dos sistemas Carro de Trolley, Gantry e Grupo Gerador permite que sejam identificadas 75% das falhas provenientes deste tipo de equipamentos.

6.1 Análise das falhas de cada sistema

O presente subcapítulo tem como objectivo realizar uma análise à origem e causas das falhas registadas de cada um dos sistemas e subsistemas das RTG da marca B. Esta análise tem como intenção compreender melhor o modo de operação do equipamento, de forma a auxiliar a construção de um plano de manutenção preventiva mais eficaz.

Inicia-se o estudo pelo sistema Gantry pois foi aquele que representou um tempo de intervenção bastante superior aos restantes.

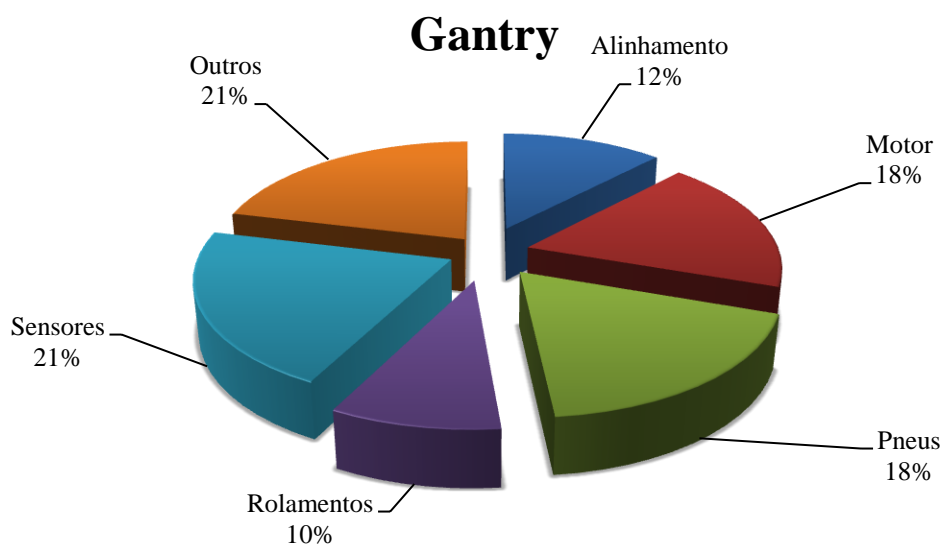


Figura 6.4 – Origem das falhas do Gantry.

Quadro 6.1- Origem das falhas do Gantry.

Grupo	Número de falhas	Porcentagem	Descrição / Causa
Sensores	7	21%	Desafinação
Outros	7	21%	Fim de curso; <i>Encoder</i>
Motor	6	18%	Motor queimado; Avaria no <i>wheel turning</i>
Pneus	6	18%	Pneus vazios / danificados
Alinhamento	4	12%	Desalinhamento das rodas
Rolamentos	3	10%	Rolamentos partidos
Total	33	100%	

Analisando a figura 6.4 e quadro 6.1 verifica-se que existe uma homogeneidade entre os grupos das falhas observadas no sistema Gantry. Em primeiro lugar, encontram-se problemas nos sensores. As falhas categorizadas como “outros”, que representam 21% das falhas, encontram-se relacionadas com problemas em *encoders*, inversores, hastes, entre outros. Os motores e pneus são, cada um, responsáveis por 18% dos problemas registados. As falhas derivadas ao desalinhamento dos bogies têm menor expressão que nas RTG da marca A, pois representam apenas 12% do total. Os rolamentos são a menor causa de paragens no sistema Gantry, no entanto foi devido a um rolamento partido que a RTG ficou inutilizável durante um longo período (10 dias).

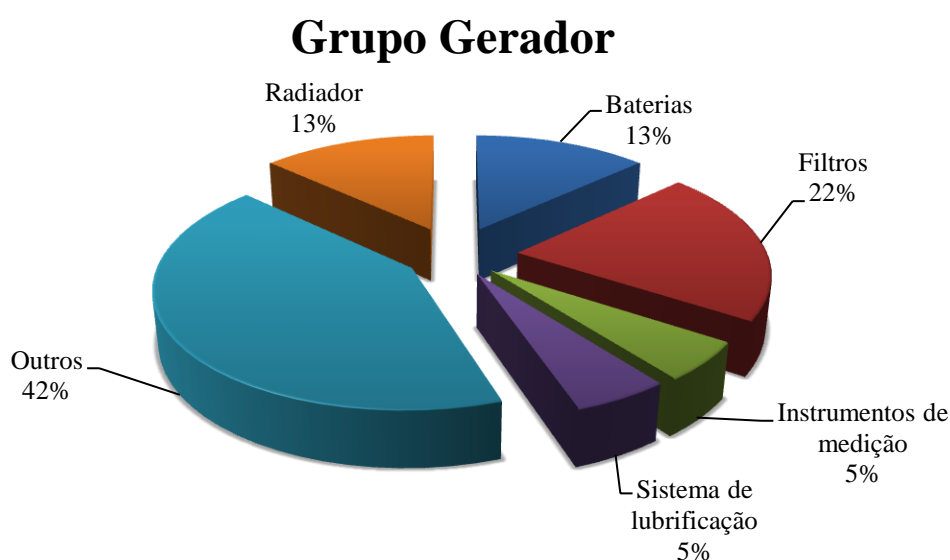


Figura 6.5 – Origem das falhas do Grupo Gerador.

Quadro 6.2- Origem das falhas do Grupo Gerador

Grupo	Número de falhas	Porcentagem	Descrição / Causa
Outros	16	42%	Torneira do circuito do combustível; Problemas no Main Braker, entre outros
Filtros	8	22%	Filtros bloqueados
Baterias	5	13%	Baterias
Radiador	5	13%	Radiador
Sistema de lubrificação	2	5%	Nível do óleo baixo.
Instrumentos de medição	2	5%	Manómetro de combustível; Sonda de temperatura do gerador
Total	38	100%	

O Grupo Gerador é o segundo maior responsável pelas falhas ocorridas nas RTG da marca B. De acordo com a figura 6.5, quase metade das falhas tiveram várias origens tais como: problemas no *circuit breaker* geral, problemas com as torneiras no circuito de combustível, falhas no sistema de admissão de ar, entre outros. Os filtros representam 22% das falhas, enquanto que problemas no radiador e baterias correspondem ao mesmo número de problemas (13%). Os instrumentos de medição, como referido no capítulo anterior não implicam directamente a paragem da máquina, mas representam 5% das falhas registadas. Por último, existem as falhas no sistema de lubrificação, de rara ocorrência, comparativamente com as RTG da marca A. As RTG da marca B possuem um tanque extra que fornece óleo quando se esgota o tanque principal. O Grupo Gerador foi o segundo sistema que mais tempo de paragem implicou nestes equipamentos, devido a uma falha na RTG06, que não ficou registada qual a sua fonte.

O Carro de Trolley é o sistema que possui maior número de falhas, no entanto, dos três principais grupos responsáveis pela inoperabilidade dos equipamentos, é aquele que provoca um menor tempo de paragem aos equipamentos.

Carro de Trolley

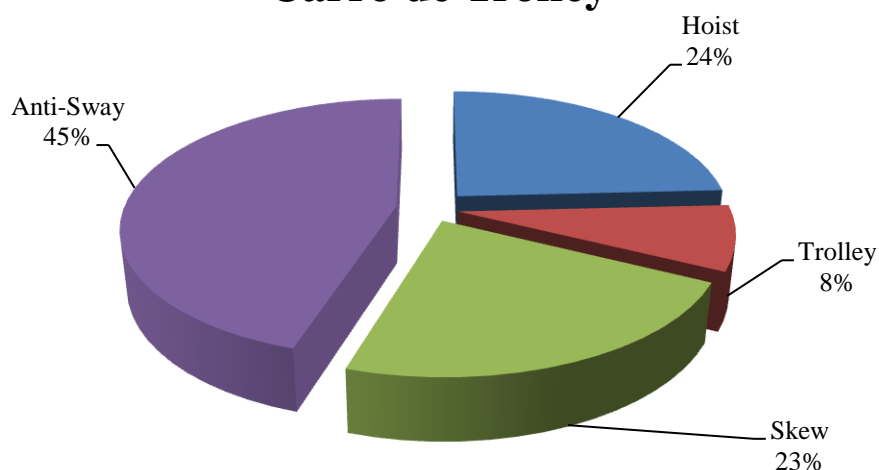


Figura 6.6 – Origem das falhas do Carro de Trolley.

Quadro 6.3 - Origem das falhas do Carro de Trolley – Nível 1.

Subsistema	Número de falhas	Percentagem
Anti-sway	28	45%
Hoist	15	24%
Skew	14	23%
Trolley	5	8%
Total	62	100%

Quadro 6.4 - Origem das falhas do Carro de Trolley - Nível 2.

Subsistema	Grupo	Número de falhas	Percentagem	Descrição / Causa
Anti-sway	Inversor	13	46%	Falhas
	Outros	8	29%	Freio a roçar no travão, não enrolava os cabos, entre outros
	Cabo	3	11%	Folga nos cabos
	Sensor	2	7%	Sensor danificado
	Corrente	2	7%	Corrente partida
Hoist	Loadcell	8	53%	Loadcell not balance
	Encoder	4	27%	Perda de posição
	Cabo	3	20%	Folga nos cabos
Skew	Sensor	10	71%	Descalibração
	Outros	4	29%	Fim de curso / Selector
Trolley	Sensor	3	60%	Sensor danificado
	Outros	2	40%	Encoder

Da análise da figura 6.6 e quadro 6.3 conclui-se que o maior responsável pelas paragens no sistema Carro de Trolley, e consequentemente na RTG, é o Anti-sway (45%). Dentro deste grupo as falhas dividem-se da seguinte forma: 46% derivam dos inversores, 11% relativas a folgas do cabo, 7% a problemas com os sensores, 7% a problemas com a corrente dos motores e 29% com os denominados “outros”, onde se encontram problemas nas caixas redutoras, sistema de travagem, entre outros. O subsistema Hoist é o segundo maior responsável (24%) pelas falhas ocorridas no sistema Carro de Trolley. Do total das falhas, 53% correspondem a problemas com as *loadcells*, 27% com os *encoders* e 20% com afinações nos cabos. O sistema *Skew* representa 23% das falhas totais registadas, onde 71% deve-se a descalibração dos sensores e os restantes 29% a problemas com parafusos, fins de curso, entre outros. Por fim verifica-se as falhas do sistema Trolley (8%), onde 60% são relativas aos sensores e os restantes 40% aos *encoders*.

As falhas provocadas pelo sistema “Operações” representam 9,6% do total registado. Estas falhas encontram-se directamente relacionadas a uma má prática recorrente efectuada pelos operadores da PSA Sines que, em vez de desligar as RTG, carregavam no botão de emergência. Esta acção leva ao disparo do *main breaker* e consequentemente a um funcionamento anormal da velocidade da RTG. Depois de ser realizada uma campanha de sensibilização junto dos operadores, este problema ficou resolvido e não se registaram novas ocorrências.

Relativamente aos restantes sistemas responsáveis pelas falhas neste tipo de equipamentos têm-se a Sala Eléctrica (6,8%), Iluminação (4,5%) e Cabine (4,0%).

No universo em estudo considera-se que o sistema Operações, Sala Eléctrica, Iluminação e Cabine podem ser “desprezados”, pois não são os sistemas que contribuem em maior peso para as falhas neste tipo de equipamentos.

6.2 Análise individual das RTG

Como mencionado previamente, a análise da sequência de falhas permite revelar informação importante sobre a evolução do estado de um equipamento ao longo da sua utilização. Após a identificação dos sistemas de maior criticidade e respectiva origem das falhas, pretende-se descobrir qual é a RTG da marca B mais crítica em termos de fiabilidade. Na figura 6.7 encontra-se a representação esquemática da sequência de falhas que ocorreram nos equipamentos da marca B.

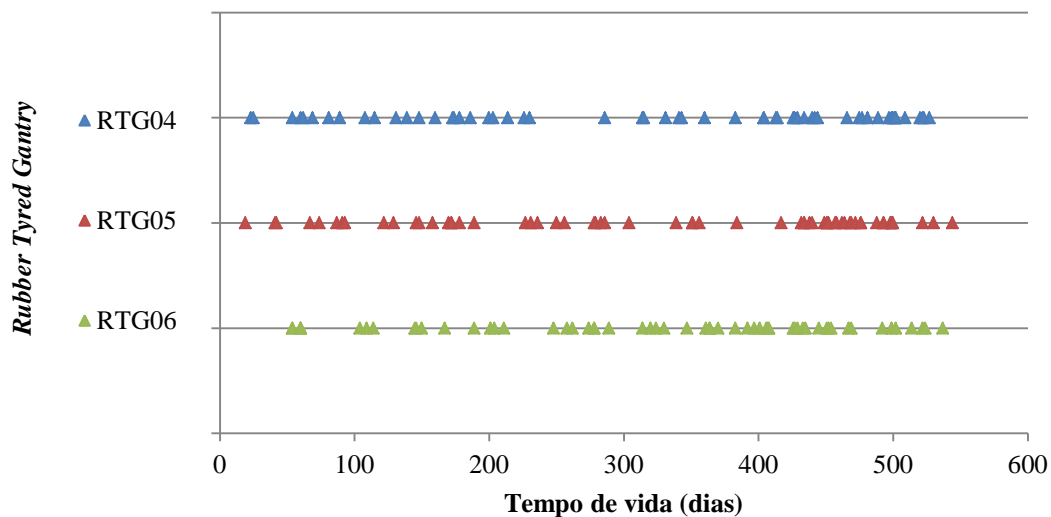


Figura 6.7 - Padrão de falhas de cada uma das RTG da marca A.

Com base na figura 6.7, a RTG04 apresenta um período temporal, entre o dia 230 e 310, ou seja, aproximadamente dois meses e meio apenas com o registo de uma falha, o que revela ser inconsistente pois trata-se de um período temporal bastante significativo para só ocorrer uma falha. De salientar que não aconteceu nenhuma paragem prolongada, quer programada quer por falha do equipamento. As restantes RTG também possuem alguns períodos longos sem ocorrência de falhas. Este facto deve-se então à falta de registo. No entanto, é normal existir poucas falhas registadas logo no início do estudo, visto que existiu um período de adaptação dos operadores a estes equipamentos.

Realizou-se o Teste de *Laplace* às RTG da marca B, de forma a encontrar o equipamento que revela ser mais crítico em termos de fiabilidade, aplicando a expressão 2.9 com o intuito de calcular o valor da estatística de teste z_0 . Os resultados obtidos resumem-se no quadro 6.5, encontrando os detalhes no Anexo II.

Quadro 6.5 - Resultado do teste de Laplace para as RTG da marca B, MTBF e CMTBF.

RTG	z_0	Taxa de falhas	MTBF	CMTBF
04	2,07	Crescente	-	-
05	2,56	Crescente	-	-
06	2,03	Crescente	-	-

Analisando o quadro 6.5, verifica-se que todas as RTG da marca B apresentam uma taxa de falhas crescente, ou seja, todos os equipamentos estão a degradar-se ao longo do tempo, uma vez que todas as estatísticas de teste são superiores a $z_{0,05}=1,64$.

Sendo o valor de estatística de teste da RTG05 o mais elevado, pode-se afirmar que dos equipamentos da marca B, este possui a função de risco mais elevada.

Numa perspectiva prática existem alguns aspectos fundamentais a ter em consideração como consequência destes resultados:

- Um dos aspectos está relacionado com a fidedignidade dos dados, uma vez que estes são mais fidedignos no período temporal mais próximo da actualidade.
- O período temporal de estudo não é o mais apropriado, sendo de dimensão “reduzida”, originando um maior erro associado aos cálculos efectuados.
- As RTG da marca B são equipamentos que possuem alguns sistemas considerados obsoletos para a função a desempenhar.

Capítulo 7

Vantagem de manutenção preventiva

Como referido no capítulo 2, a manutenção pode ser classificada sob carácter preventivo ou correctivo. Este capítulo tem como propósito demonstrar as vantagens que se pode obter com a aplicação de manutenção preventiva nas RTG.

Segundo Cruzan (2009) a manutenção preventiva define-se como um programa calendarizado de inspecções regulares, ajustes, lubrificação ou substituição de peças gastas / componentes danificados, de forma a manter a função de um determinado recurso, garantindo a sua eficiência. Resumindo, a manutenção preventiva destina-se a evitar que os pequenos problemas se transformem em falhas catastróficas.

O planeamento de manutenção preventiva é basicamente um calendário de tarefas de manutenção que se deve efectuar em determinado recurso. Estas tarefas devem ser executadas segundo uma periodicidade regular para evitar a ocorrência de futuros problemas (Cruzan, 2009).

O mesmo autor expõe que a manutenção preventiva traz diversos benefícios tais como:

- Uma das maiores razões para realizar manutenção preventiva deve-se ao facto de utilizando este método o ciclo de vida do equipamento é ampliado.
- Redução nos custos como consequência do aumento do ciclo de vida do equipamento.
- Aumento dos proveitos com a diminuição do tempo de inactividade do equipamento.
- Redução nos custos de energia através de pequenas tarefas de manutenção preventiva como limpeza de motores sujos ou filtros de ar obstruídos.

De acordo com os capítulos 5 e 6, os sistemas Grupo Gerador, Carro de Trolley, Gantry e Cabine correspondem a cerca de 87% das falhas ocorridas nas RTG da marca A, e os sistemas Grupo Gerador, Carro de Trolley e Gantry são responsáveis por 75% das falhas registadas nas RTG da marca B. Uma das finalidades deste estudo é realizar um plano de manutenção preventiva, através da elaboração de GTMP (presentes no

Anexo III) de forma a melhorar o índice de manutenção e evitar que os tempos de paragens sejam consideráveis.

Como referenciado no capítulo 1, o aumento do volume de negócios de movimentação contentorizada a nível mundial também tem efeito no terminal de Sines. A figura 7.1 ilustra o aumento do fluxo de contentores, movimentados pelas QC desde Janeiro de 2009 a Outubro de 2010.

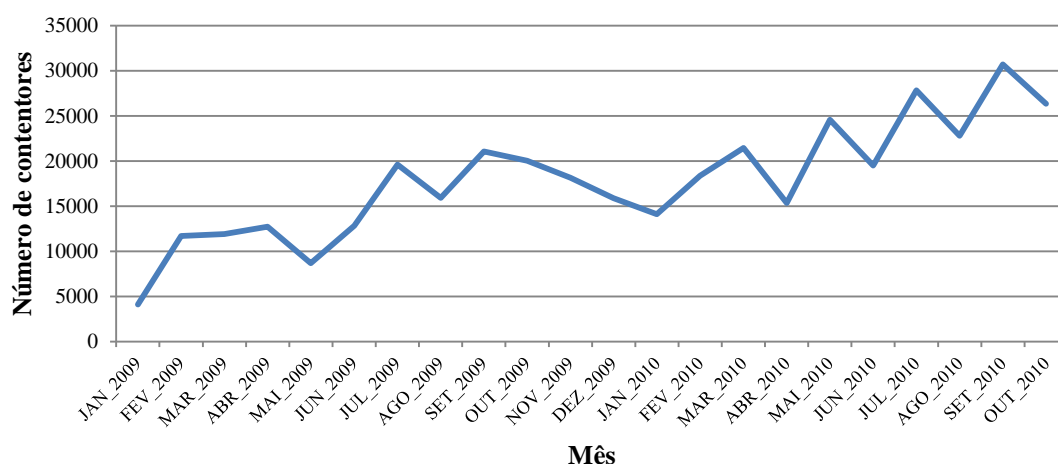


Figura 7.1 - Número de contentores movimentados pelas QC no terminal portuário.

Consequentemente, devido ao aumento dos contentores movimentados pelas QC, as RTG também vão ser mais requisitadas, sendo este facto visível na figura 7.2.

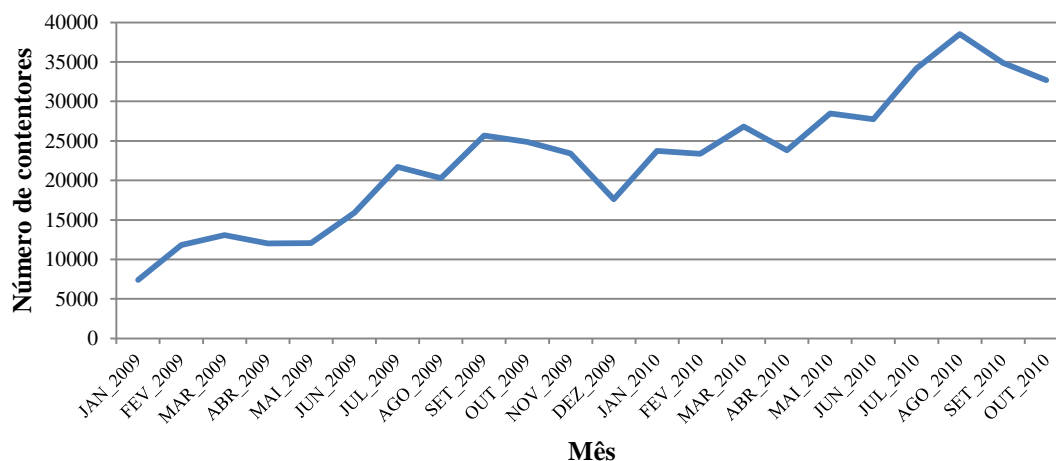


Figura 7.2 - Número de contentores movimentados pelas RTG no terminal portuário.

Utilizando o histórico relativamente ao número de contentores movimentados pelas RTG desde Janeiro de 2009, pode-se afirmar que estes equipamentos movimentam, em média, 747 contentores por dia. Como o terminal de Sines opera sob

regime de 24 horas, então pode-se concluir que as RTG movimentam em média 31 contentores/hora.

O quadro 7.1 demonstra o tempo acumulado de paragem, desde 1 de Outubro de 2007 a 31 de Outubro de 2010, das RTG da marca A, originado pelas falhas dos sistemas mais críticos de cada equipamento.

Quadro 7.1 - Tempo acumulado de paragem das RTG da marca A.

	Sistema	Horas
RTG01	Grupo Gerador	175,8
	Gantry	105,8
	Carro de Trolley	111,5
	Cabine	54,0
RTG02	Grupo Gerador	143,2
	Gantry	65,8
	Carro de Trolley	117,7
	Cabine	92,3
RTG03	Grupo Gerador	114,4
	Gantry	100,6
	Carro de Trolley	187,7
	Cabine	101,3
TOTAL		1370,1

O quadro 7.2 representa o tempo acumulado de paragem das RTG da marca B, desde 1 de Maio de 2009 a 31 de Outubro de 2010, provocado por falhas nos sistemas mais críticos dos equipamentos desta marca.

Quadro 7.2 - Tempo acumulado de paragem das RTG da marca B.

	Sistema	Horas
RTG04	Grupo Gerador	45,8
	Gantry	613,3
	Carro de Trolley	77,1
RTG05	Grupo Gerador	18,1
	Gantry	60,6
	Carro de Trolley	389,8
RTG06	Grupo Gerador	589,4
	Gantry	253,3
	Carro de Trolley	30,8
TOTAL		2078,3

Desde o início do estudo verificou-se que os sistemas mais críticos de cada marca de RTG contribuíram com um tempo total de paragem equivalente a 3448,4 horas, correspondendo este tempo a uma movimentação teórica de 106.900 contentores. Deve-se salientar que este tempo de paragem não corresponde totalmente a perdas de produção, uma vez que nem sempre estão todas as RTG em operação, como pode ter ocorrido a falha numa altura em que não existia navio a embarcar/desembarcar.

Um dos indicadores que a organização utiliza aquando a chegada de um navio está directamente ligado a um rácio 1:2, ou seja, por cada QC em funcionamento são necessários 2 RTG em operação. Desta forma nem sempre é obrigatório estarem os seis equipamentos em funcionamento, mas com o aumento do volume de carga movimentada tal como a expansão do terminal irá ser crucial que todas as RTG se encontrem em bom estado operacional.

Um aspecto que se deve ter em especial atenção, através da análise destes indicadores é que o tempo acumulado de paragem das RTG da marca B é superior ao da marca A. Este facto deve ser destacado uma vez que o tempo de estudo dos equipamentos da marca B é metade da marca A. Ocorreram três grandes problemas nestes equipamentos que contribuíram significativamente para esta diferença. O primeiro problema teve origem no Grupo Gerador da RTG06, implicando a paragem de 9 dias. O segundo problema teve origem no sistema Carro de Trolley da RTG05, mais concretamente no subsistema Anti-Sway, sendo que a RTG ficou inoperável durante 5 dias. O terceiro problema surgiu devido a rolamentos partidos no *bogie* nº3 da RTG04. Uma vez que não existia *stock* disponível na altura, o equipamento esteve inoperacional durante 10 dias.

A aplicação de um regime de manutenção preventiva tem como objectivo diminuir o tempo de paragem dos equipamentos, calendarizando as inspecções para períodos na qual não existiam navios em operações de embarcar / desembarcar, ou que os equipamentos não sejam necessários durante um determinado intervalo de tempo.

De modo a exemplificar a vantagem da aplicação de manutenção preventiva aos sistemas mais críticos recorreu-se ao cálculo do MTBF para cada sistema independente, tendo-se obtido os resultados presentes no quadro 7.3, onde os parâmetros mais importantes para o cálculo encontram-se no Anexo III.

Quadro 7.3- Resultado do teste de Laplace para os sistemas mais críticos das RTG, MTBF e CMTBF.

Sistema	Equipamento	z_0	Taxa de falhas	MTBF	CMTBF
Cabine	A	-0,58	Constante	14,25	-
Gantry	A	-1,64	Constante	11,85	-
	B	2,22	Crescente	-	-
Carro de Trolley	A	1,09	Constante	14,25	-
	B	1,86	Crescente	-	-
Grupo Gerador	A	-1,75	Decrescente	-	9,38
	B	2,28	Crescente	-	-

Após o cálculo da tendência de cada sistema pretende-se atingir um nível de fiabilidade de 90%, ou seja, apenas existir 10% de falhas registadas no mesmo período de tempo. O sistema Cabine da RTG da marca A apresentou 79 falhas durante o período em estudo (1126 dias) e como demonstra uma taxa de falhas constante então apresenta um MTBF de 14,25 dias. Como o objectivo é diminuir o número de falhas para 10%, então será esperado que o sistema Cabine apresente apenas 8 falhas durante o mesmo período em estudo. Desta forma o MTBF esperado (designado por \widehat{MTBF}) será de 141 dias.

Com a aplicação desta metodologia ambiciona-se aumentar o MTBF para os valores demonstrados no quadro 7.4.

Quadro 7.4 - MTBF esperado com a aplicação do programa de manutenção preventiva.

Sistema	Equipamento	\widehat{MTBF}
Cabine	A	141
Gantry	A	113
	B	137
Carro de Trolley	A	141
	B	79
Grupo Gerador	A	80
	B	137

Não sendo possível calcular o indicador MTBF para os casos em que a taxa de falhas é crescente ou decrescente, pois não respeita a condição de PPH, o valor designado no quadro 7.4 como \widehat{MTBF} (para os sistemas que apresentem taxa de falhas crescente ou decrescente) demonstra o MTBF esperado posterior à aplicação do programa de manutenção preventiva aos sistemas em causa, e após a taxa de falhas comprove ser constante.

Capítulo 8

Cálculo do período de manutenção preventiva

É impossível determinar o momento exacto da ocorrência de uma falha. No entanto é possível estabelecer, recorrendo a informação correcta, intervalos de tempo correspondente a intervenções de manutenção preventiva, ou a uma estratégia de manutenção mais adequada a efectuar a longo prazo (Márquez, 2007).

Com base no capítulo e afirmação anterior, o presente capítulo tem como objectivo o cálculo de periodicidade de intervenções para os sistemas mais críticos de cada RTG, sob carácter preventivo.

Para o cálculo dos intervalos de tempo considerou-se o conjunto de sistemas que mais significativamente contribuem para a função de risco dos equipamentos. Como referido anteriormente, para as RTG da marca A os sistemas contemplados são o Grupo Gerador, Carro de Trolley, Gantry e Cabine, que no seu agregado representam 87% das falhas ocorridas nestes equipamentos. Relativamente às RTG da marca B, os sistemas em estudo serão o Grupo Gerador, Carro de Trolley e Gantry, sendo que estes representam 75% das falhas.

Uma vez que o modo de manutenção é igual nos dois tipos de equipamentos, o estudo sobre o sistema Grupo Gerador vai incorporar o registo das falhas de ambas as marcas. Cada um dos restantes sistemas será estudado independentemente dado que a metodologia de manutenção é diferente.

Para efeito prático da modelação da distribuição de probabilidade de falha os intervalos entre falhas inferiores a 10 dias e superiores a 60 ou 90 dias, consoante a criticidade do sistema em estudo, serão classificados como *outliers*, tendo por base uma análise técnica muito rigorosa dos tempos em cada sistema. Na escolha dos intervalos para cada sistema arbitrou-se que todos os intervalos entre falhas inferiores a 10 dias não seriam contabilizados, uma vez que no estudo representam uma falha “reincidente”, ou seja, uma falha recorrente dependente de uma reparação correctiva imperfeita. Todos os intervalos entre falhas superiores a 60 ou 90 dias também não serão considerados, pois o período de tempo é bastante extenso para que não ocorra nenhuma falha, verificando-se falta de registos. Os valores considerados foram utilizados no *Statistica*

como modelação das distribuições de *Weibull*. O quadro 8.1 demonstra os intervalos entre falhas (ordem ascendente) do sistema Carro de Trolley das RTG da marca A, sendo que os valores assinalados representam os *outliers* deste sistema.

Quadro 8.1 - Intervalo entre falhas do sistema Carro de Trolley das RTG da marca A.

Intervalo entre falhas (dias)					
0	4	13	28	43	77
0	5	16	29	43	78
0	5	17	31	44	84
0	5	23	32	47	92
0	5	23	35	49	114
1	5	23	36	51	119
1	6	24	36	51	124
1	7	24	36	52	143
2	8	24	37	56	154
2	9	24	37	58	203
3	9	24	38	61	238
3	10	25	38	64	263
3	11	26	42	68	
3	12	26	42	73	

O critério de selecção para os diferentes intervalos de cada sistema consistiu no tempo de paragem acumulado de cada equipamento, como demonstrado na figura 5.4 (capítulo 5) e figura 6.3 (capítulo 6). Como os sistemas Gantry e Cabine da RTG da marca A não se revelam ser tão críticos comparativamente aos sistemas Grupo Gerador e Carro de Trolley da mesma marca, então considera-se que o intervalo entre falhas será mais extenso que o considerado para estes últimos. O quadro 8.2 evidencia os intervalos entre falhas que foram considerados no estudo de cada sistema.

Quadro 8.2 - Intervalo entre falhas para os sistemas mais críticos de cada tipo de equipamentos.

Sistema	Equipamento (marca)	Intervalo entre falhas (dias)
Grupo Gerador	A + B	10 – 60
Carro de Trolley	A	10 – 60
Carro de Trolley	B	10 – 60
Gantry	A	10 – 90
Gantry	B	10 – 60
Cabine	A	10 – 90

A escolha de 10 dias como intervalo mínimo entre falhas deveu-se ao facto de estas representarem reparações correctivas imperfeitas, sendo que seriam evitáveis caso se realiza-se um programa de manutenção preventiva mais eficaz. Com a finalidade de corrigir esta situação elaborou-se as GTMP, onde o quadro 8.3 demonstra as características das falhas ocorridas no sistema Grupo Gerador, assim como a respectiva acção de manutenção preventiva.

Quadro 8.3 - Características das falhas relativas a intervalos entre falhas até 10 dias, e respectivas acções de manutenção preventiva.

Característica da falha	Acção de manutenção preventiva
“Falta de óleo”	“Verificar nível do óleo. Mudar se necessário”
“Manómetro do nível do gasóleo danificado”	“Verificar estado do manómetro e bóia de combustível”
“Filtros do gasóleo bloqueados”	“Verificar estado do pré e filtros de gasóleo (fazer limpeza de depósito se necessário)”
“Falha por falta de água”	“Verificar nível do líquido de anti-congelante e sua concentração”
“Fuga de água nas tubagens do radiador”	“Verificar estado da tubagem e aperto das abraçadeiras”
“Terminal positivo da bateria partido”	“Limpar os terminais da bateria e verificar abraçadeiras”
“Reparação da sonda de temperatura”	“Verificar manómetro e sensores de temperatura de água”
“Reparação do manómetro de pressão do óleo”	“Verificar o manómetro de pressão do óleo”
“Motor não arranca, problemas no motor de arranque”	“Verificar estado do motor de arranque”
“Problemas com o turbo”	“Verificar folga e estado do turbo”

Para complementar o estudo registou-se todas falhas na Gama de Trabalho, através de acções de manutenção preventiva com o objectivo de evitar a ocorrência das mesmas. A figura 8.1 e figura 8.2 apresenta a GTMP para o sistema Grupo Gerador das RTG da marca A e B, sendo que as restantes GTMP encontram-se no Anexo IV.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA									
MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A+B - GRUPO GERADOR									
Dados									
Horas de Funcionamento					Início da Revisão		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Data</div> <div>Hora</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>/ /</div> <div>:</div> </div>		
					Fim da Revisão		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>/ /</div> <div>:</div> </div>		
Preparação									
Lubrificantes:		Aplicação:	Quant.	Documentos:		Última Revisão:		Das horas	
				Manual de Manutenção				<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Data</div> <div></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>H. Funcion.</div> <div></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>T. de Execução</div> <div></div> </div>	
Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações				
			OK	Not OK					
1.	Sistema de lubrificação								
1.1		Verificar nível do óleo. Mudar se necessário.							
1.2.		Verificar estado dos filtros de óleo. Mudar se necessário.							
1.3.		Verificar o manómetro de pressão do óleo.							
1.4.		Limpeza do respiradouro do cárter e verificar fugas.							
2.	Sistema de admissão de ar								
2.1.		Verificar restrição de entrada de ar.							
2.2.		Verificar estado dos filtros de ar e tubagem. Mudar se necessário.							
2.3.		Verificar estado, e se existe fugas, no colector de admissão.							
2.4.		Verificar estado, e se existe fugas, no colector de escape.							
2.5.		Verificar folga e estado do turbo.							
3.	Sistema de arrefecimento								
3.1.		Verificar manómetro e sensores de temperatura de água.							
3.2.		Verificar estado nas ventoinhas.							
3.3.		Verificar nível do líquido de anti-congelante e sua concentração.							
3.4.		Verificar obstruções ou danos no radiador.							
3.5.		Verificar estado da tubagem e aperto das abraçadeiras.							
3.6.		Lubrificar conjunto do cubo do ventilador.							
3.7.		Verificar funcionamento da bomba de água, e se existem fugas.							
4.	Sistema de arranque								
4.1.		Verificar estado do motor de arranque							
4.2.		Verificar cremalheira de engrenagem (se existe dentes deteriorados)							

Figura 8.1 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Grupo Gerador para as RTG da marca A e B. (Parte I).

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA							
MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A+B - GRUPO GERADOR							
Dados							
Horas de Funcionamento			Início da Revisão				
			Fim da Revisão				
Preparação							
Lubrificantes:	Aplicação:	Quant.	Documentos:	Última Revisão:	Das	horas	
			Manual de Manutenção		Data	/	/
					H. Funcion.		
					T. de Execução		

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
5.	Sistema de combustível				
5.1.		Verificar estado do manómetro e bóia de combustível.			
5.2.		Verificar estado do pré e filtros de gasóleo (fazer limpeza de depósito se necessário).			
5.3.		Verificar estado de mangueiras e existência de fugas.			
6.	Sistema eléctrico				
6.1.		Verificar nível do electrólito e repor o nível com água destilada.			
6.2.		Limpar os terminais da bateria e verificar abraçadeiras.			
6.3.		Verificar a tensão de saída do alternador e da bateria.			
6.4.		Verificar correia, rolamentos e tensor do alternador.			
6.5.		Verificar voltímetro e conta-horas.			
6.6.		Verificar luzes de aviso.			
7.	Gerador				
7.1.		Verificar estado da bobinagem.			
7.2.		Verificar estado dos rolamentos.			
7.3.		Verificar estado dos filtros de ar.			
7.4.		Verificar estado dos diódos giratórios.			
8.	Testes funcionais aos sistemas de alarme e segurança.				
9.	Limpezas do compartimento.				

Figura 8.2 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Grupo Gerador para as RTG da marca A e B. (Parte II).

Quando se pretende realizar um estudo estatístico sobre a fiabilidade de um equipamento, sistema ou componente a distribuição estatística mais utilizada é a distribuição de *Weibull*, pois demonstra ser bastante flexível, ajustando-se a uma grande variedade de possíveis formas de distribuições de probabilidade.

Como referido no capítulo 2, a distribuição de *Weibull* é obtida através de três parâmetros (t_0 - parâmetro de localização; η - o parâmetro de escala; β - parâmetro de forma). Neste estudo em concreto o parâmetro de localização será 0, uma vez que este representa uma unidade temporal (pelo qual não poderá ser negativa), e que corresponde ao início do estudo. Desta forma, o cálculo dos intervalos de tempo será obtido apenas recorrendo aos restantes dois parâmetros.

Para o cálculo da periodicidade de intervenção a realizar recorreu-se à aplicação informática *Statistica*. Uma vez que o processo de cálculo efectua-se da mesma forma para os diferentes sistemas, então será exemplificado o método efectuado no cálculo da intervenção do sistema Grupo Gerador, enviando para o Anexo V os dados mais importantes relativamente aos restantes sistemas.

Considerou-se um nível de significância de 10% pelo facto de o registo de falhas não ser completamente fidedigno e também por o histórico de falhas ser curto, impossibilitando que se obtenha uma análise mais íntegra e fiável.

Os valores presentes no quadro 8.4 dizem respeito à distribuição de *Weibull*, onde se calculou os parâmetros de forma e escala da distribuição que melhor se adequa aos dados obtidos, após a filtragem dos *outliers* referidos anteriormente. Uma vez que são valores estimados, estes são calculados sob a forma de um intervalo de confiança. Como existe um erro associado à utilização dos valores no intervalo considera-se o valor do limite inferior de confiança. Assim, para o sistema Grupo Gerador os dados ajustam-se a uma distribuição de *Weibull* com parâmetro de forma 2,16 e parâmetro de escala 31,27.

Quadro 8.4 - Parâmetros do sistema Grupo Gerador.

Parâmetro	Valor do parâmetro	Erro padrão	LIC -95,0%	LSC +95,0%	Covariância
Localização	0				
Forma	2,46	0,19	2,16	2,80	
Escala	33,58	1,45	31,27	36,6	0,08

De forma a verificar se os valores calculados encontram-se bem ajustados ao comportamento do sistema utilizou-se as funções do *Statistica* que representam os valores iniciais e respectivas curvas representativas dos intervalos de confiança.

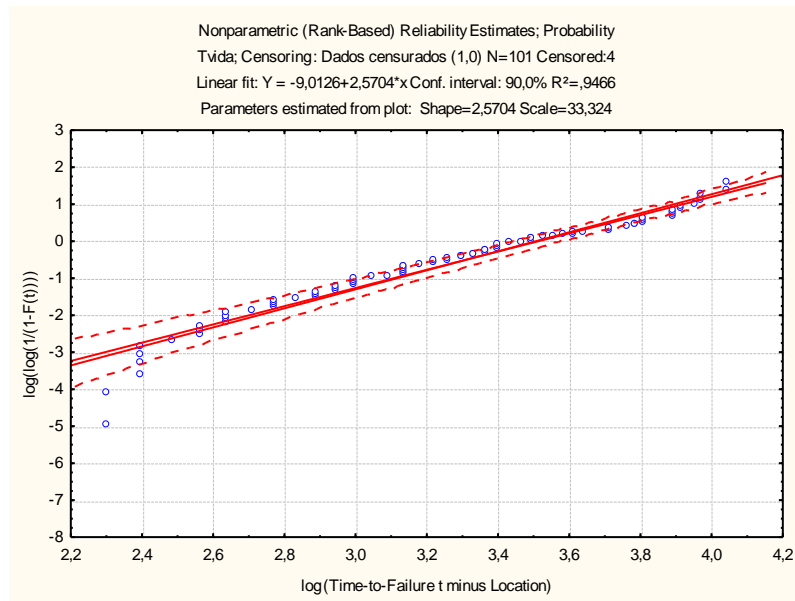


Figura 8.3 - Ajustamento, método não paramétrico - sistema Grupo Gerador. (Fonte: Statistica).

Pela observação da figura 8.3 pode-se verificar que, tirando algumas situações pontuais os valores de escala e forma encontram-se próximos dos valores calculados inicialmente, para o mesmo grau de confiança.

Após a análise do gráfico anterior pode-se afirmar que os valores se encontram bem ajustados, sendo possível calcular a periodicidade de manutenção para este sistema.

Considerando uma probabilidade de falha (p) de 10% obteve-se o resultado do quadro 8.5.

Quadro 8.5 - Distribuição de *Weibull* 90% - sistema Grupo Gerador.

	Valores	Periodicidade (dias)
p	0,1	$W = 11,03$
Forma	2,16	
Escala	31,27	

O resultado do quadro 8.5 permite concluir que, para uma fiabilidade de 90%, garantida em 95% dos casos, deve ser realizada uma intervenção preventiva no sistema Grupo Gerador a cada 11 dias. A função densidade de probabilidade a que correspondente este resultado é apresentada na figura 8.4.

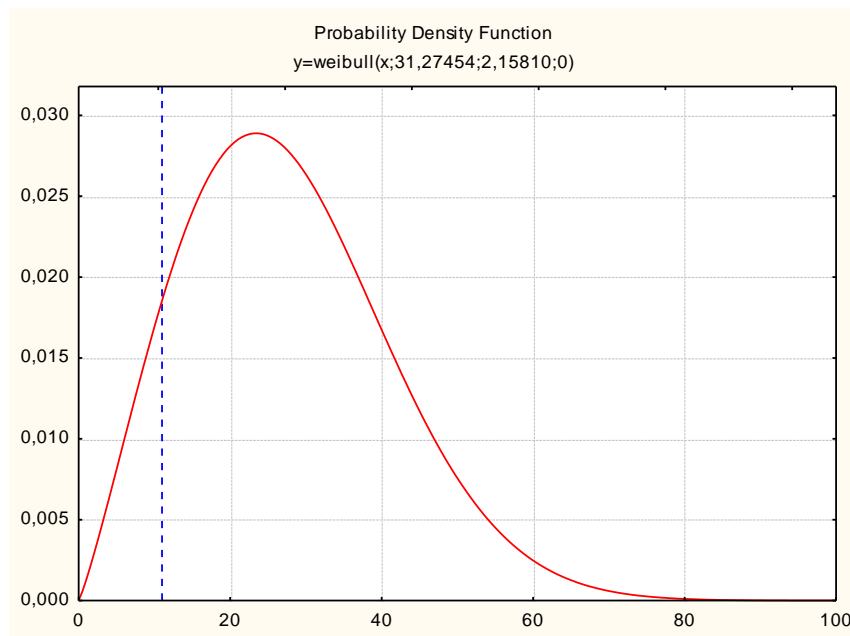


Figura 8.4- Função densidade de probabilidade – sistema Grupo Gerador. (Fonte: Statistica).

Dado que para os restantes sistemas o método de cálculo é semelhante, apresentam-se os resultados no quadro 8.6 e os respectivos gráficos em Anexo V.

Quadro 8.6 - Periodicidade entre intervenções dos sistemas mais críticos das RTG.

Sistemas	Equipamento	Ajustamento	Parâmetro		Periodicidade (dias)
			Forma	Escala	
Grupo Gerador	A+B	Correcto	2,16	31,27	11
Carro de Trolley	A	Correcto	2,28	33,79	13
Carro de Trolley	B	Correcto	1,83	31,68	10
Gantry	A	Correcto	1,57	35,24	11
Gantry	B	Correcto	1,78	33,31	10
Cabine	A	Correcto	1,29	35,99	10

Capítulo 9

Conclusões

9.1 Conclusões gerais

A crescente concorrência entre as organizações, aliado à globalização da economia implica que estas revejam constantemente os seus métodos estruturais e operacionais sob perspectiva de melhoria contínua, com o objectivo de melhorar os serviços prestados e garantir a satisfação do cliente.

O objectivo principal deste trabalho, análise da fiabilidade dos equipamentos RTG, permite não só avaliar o seu estado actual como permite também prever o seu comportamento em termos fiáveis. Consequentemente, a compreensão prévia do comportamento dos sistemas possibilita a implementação de medidas preventivas, como o desenvolvimento de um plano de manutenção.

Uma das conclusões retiradas com a realização deste trabalho está relacionado com o facto do grau de criticidade dos sistemas não depender exclusivamente do aspecto quantitativo (número total de falhas), encontrando-se também relacionado com o tempo total de paragem.

Com o intuito de analisar os sistemas mais críticos de cada marca de RTG utilizaram-se diagramas de Pareto concluindo que, para os equipamentos da marca A, os quatro principais sistemas (Grupo Gerador, Carro de Trolley, Gantry e Cabine) correspondem a 87% das falhas registadas. Por outro lado, os sistemas Grupo Gerador, Carro de Trolley e Gantry são responsáveis por 75% das falhas registadas nas RTG da marca B. Ao analisar e propor melhorias para os sistemas em causa abrange-se mais de três quartos das falhas registadas em cada marca de equipamento.

De forma a aumentar a objectividade dos resultados especificou-se mais pormenorizadamente as principais origens de falhas de cada sistema, com o objectivo de entender a fonte da falha possibilitando deste modo propor tarefas de manutenção preventiva. Ao analisar as principais causas de falhas de cada sistema conclui-se que uma percentagem elevada das mesmas poderia ser evitada se realiza-se um plano rigoroso e eficaz de manutenção preventiva. No entanto, existem outros factores em que

a manutenção preventiva demonstra ser insuficiente, como no caso do desalinhamento dos *bogies* (verificação da pressão dos pneus). Para este facto recomenda-se que se pinte o chão nas zonas onde é efectuada a rotação com uma tinta especial que diminua o efeito do atrito entre o chão e as rodas.

Tendo em consideração a análise da fiabilidade dos equipamentos obteve-se que a RTG01 é única que apresenta uma taxa de falhas decrescente, devido em grande parte às beneficiações realizadas no sistema Cabine e Carro de Trolley. As RTG02 e RTG03 apresentam uma taxa de falhas constante, no entanto deve-se ter especial atenção ao equipamento 02 pois o seu valor de estatística de teste encontra-se no limiar entre a taxa de falhas constante e crescente. Relativamente aos equipamentos da marca B, conclui-se que todos possuem uma taxa de falhas crescente, ou seja, estão a degradar-se com o tempo. Sob o ponto de vista da fiabilidade conclui-se que a RTG05 é a mais crítica, pois apresenta uma taxa de falhas crescente onde o valor da estatística de teste z_0 é o mais elevado.

Com o aumento da movimentação da carga contentorizada no Terminal de Contentores de Sines, torna-se indispensável que todos os equipamentos estejam em plenas condições de funcionamento e cumpram os requisitos de segurança. Desta forma, aplicando o plano de manutenção preventiva (através das GTMP, no período de intervenção estipulado no capítulo 8) garante-se que se diminuirá as falhas para 10%, com 90% de fiabilidade. Ao garantir a diminuição das falhas em 90% permite sensivelmente decuplicar o MTBF dos sistemas mais críticos e assim melhorar consideravelmente os tempos de operacionalidade dos equipamentos. De forma a obter estes resultados é necessário ter em conta determinadas condições como eliminar as falhas recorrentes e garantir que o plano de manutenção preventiva é realizado com rigor. Deve-se também facultar formação aos responsáveis de manutenção de forma a aumentar as suas condições técnicas.

Apesar de não ser possível determinar coerentemente se o tempo de paragem dos equipamentos correspondeu realmente a uma perda de produção (sendo este facto um ponto a melhorar pela organização), registou-se tempos de paragem significativos nas RTG da marca B. Aliando este facto ao aumento de movimentação de carga contentorizada no terminal, torna-se imprescindível que todos os equipamentos se encontrem operacionais sob consequência de serem necessários nas operações e

encontrarem-se indisponíveis, conduzindo a perda de produção com custos elevados para a organização.

De referir ainda a dificuldade em identificar com clareza o motivo das falhas, especialmente nos registos mais antigos, devido ao facto de não existir um método uniformizado, ou seja, no histórico de dados a falha com as mesmas características apresenta designações diferentes ou verificou-se falta de informação complementar importante.

9.2 Sugestões para trabalhos futuros

Atendendo ao trabalho realizado poderão surgir como propostas de trabalhos futuros o desenvolvimento da mesma metodologia aos restantes equipamentos presentes no terminal, de forma a melhorar os índices de operacionalidade e consequentemente diminuir os tempos que impliquem perdas de produção.

Dado que o plano de manutenção preventiva das RTG corresponde a intervenções em períodos de tempo curtos pode revelar-se interessante um estudo e elaboração de um plano de manutenção preventiva relativamente a períodos de intervenção mais longos, que compreendam uma análise mais minuciosa aos equipamentos. Esta análise poderá incluir manutenção a componentes que se revelem encontrar em locais de difícil acesso e outros em que a manutenção a efectuar seja mais demorosa e meticulosa, como por exemplo analisar o sistema de travagem ou verificar os acoplamentos dos *encoders* do sistema Carro de Trolley.

Bibliografia

- Ascher, H. e Feingold, H. (1984). *Repairable Systems Reliability: Modeling, Inference, Misconceptions and Their Causes*. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Baptista, L. M. (2007). *RAMS Aplicado a Sistemas Reparáveis*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Birolini, A. (2007). *Reliability Engineering*. Springer-Verlag, New York.
- Bloom, N. B. (2006). *Reliability Centered Maintenance: Implementation made simple*. McGraw-Hill, New York.
- Brito, M. (2003). *Manutenção: Manual Pedagógico PRONACI*. AEP - Associação Empresairal de Portugal, Porto.
- Cruzan, R. (2009). *Manager's Guide to Preventive Building Maintenance*. The Fairmont Press, Boca Raton.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Dias, J. A. (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Gnedenko, B. e Ushakov, I. (1995). *Probabilistic Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Gonçalves, P. A. (2008). *Controlo de Fiabilidade de Componentes de Avião*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- Kalbfleisch, J. D. e Prentice, R. L. (2002). *The Statistical Analysis of Failure Time Data*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Kim, K. H. e Günther, H. O. (2007). *Container Terminals and Cargo Systems: Design, Operations Management, and Logistics Control Issues*. Springer-Verlag, Berlin.

-
- Kobbacy, K. A. e Murthy, D. P. (2008). *Complex System Maintenance Handbook*. Springer-Verlang, London.
- Lindqvist, B. H. (2006). On the Statistical Modelling and Analysis of Repairable Systems. *Statistical Science*, Vol. 21, No. 4, pp. 532-551.
- Linn, R.; Liu, J.-y.; Wan, Y.-w.; Zhang, C. e Murty, K. G. (2003). Rubber Tired Gantry Crane Deployment for Container Yard Operation. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 4, pp. 429-442.
- Marques, S. (2009). *Manutenção Industrial e Custo do Ciclo de Vida - Extracção Oleaginosas*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Márquez, A. C. (2007). *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*. Springer-Verlang, London.
- Mobley, R. K.; Higgins, L. R., e Wikoff, D. J. (2008). *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Moore, R. (2006). *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools*. Elsevier Science & Technology Books, London.
- Nelson, W. (2004). *Applied Life Data Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- Ng, W. C. (2005). Crane Scheduling in Container Yards with Inter-crane Interference. *European Journal of Operational Research*, Vol. 164, pp. 64-78.
- Qiao, H. e Tsokos, C. P. (1995). Estimation of the Three Parameter Weibull Probability Distribution. *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 39, pp. 173-185.
- Rausand, M. e Høyland, A. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Rinne, H. (2009). *The Weibull Distribution: a Handbook*. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Ryan, T. P. (2007). *Modern Engineering Statistics*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Salvendry, G. (2001). *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

-
- Singpurwalla, N. D. (2006). *Reliability and Risk: A Bayesian Perspective*. John Wiley and Sons, Inc., West Sussex.
- Stepelberg, R. F. (2009). *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*. Springer-Verlag, London.
- Stephens, M. P. (2010). *Productivity and Reliability-based Maintenance Management*. Pearson Education, Inc.
- Sürücü, B. e Sazak, H. S. (2009). Monitoring Reliability for a Three-parameter Weibull Distribution. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 94, pp. 503-508.
- Todinov, M. T. (2005). *Reliability and Risks Models: Setting Reliability Requirements*. John Wiley & Sons, Inc., West Sussex.
- Waeyenbergh, G. e Pintelon, L. (2002). A Framework for Maintenance Concept Development. *Internacional Journal of Production Economics*, Vol. 77, pp. 299-313.
- Zhang, C.; Wan, Y.-w.; Liu, J. e Linn, R. J. (2002). Dynamic Crane Deployment in Container Storage Yards. *Transportation Research*, Vol. 36, pp. 537-555.

Anexos / Apêndices

Anexo I – Distribuição de Weibull

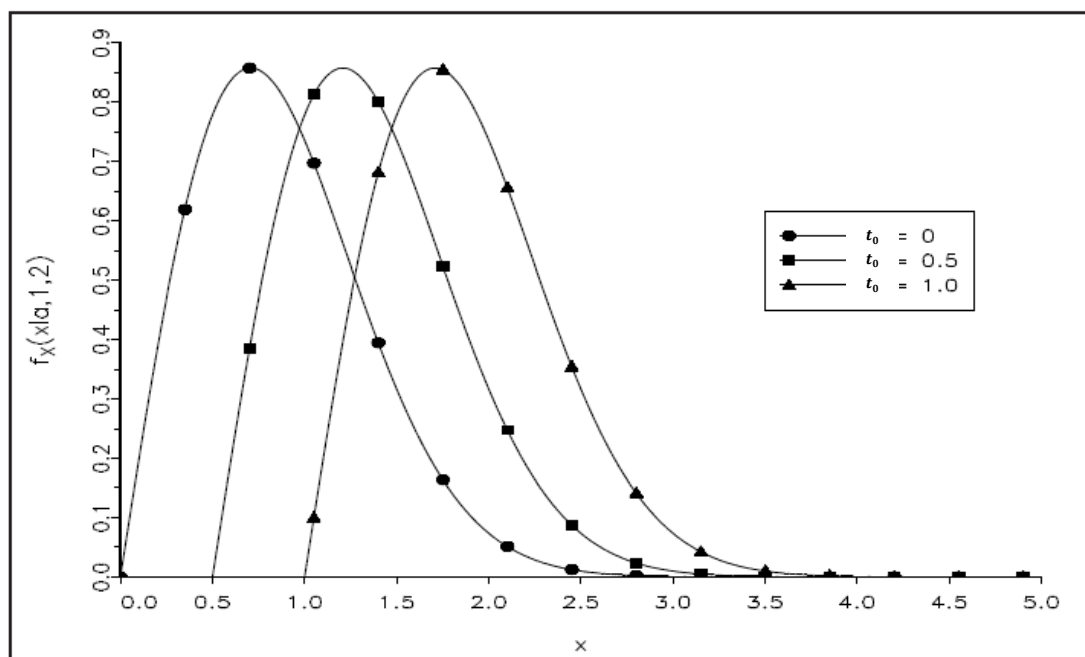
Apêndice I – Análise estatística individual das RTG

Apêndice II – Análise estatística dos sistemas das RTG

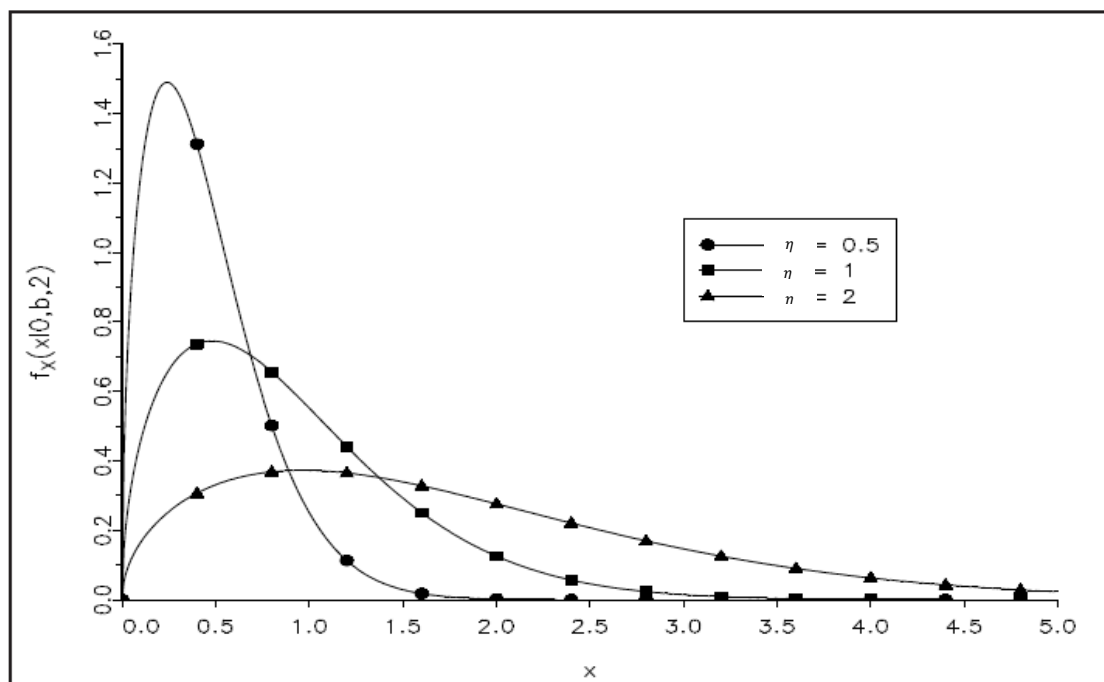
Apêndice III – Gamas de Trabalho de Manutenção Preventiva

Apêndice IV – Ajustamento dos valores e função densidade de probabilidade dos sistemas

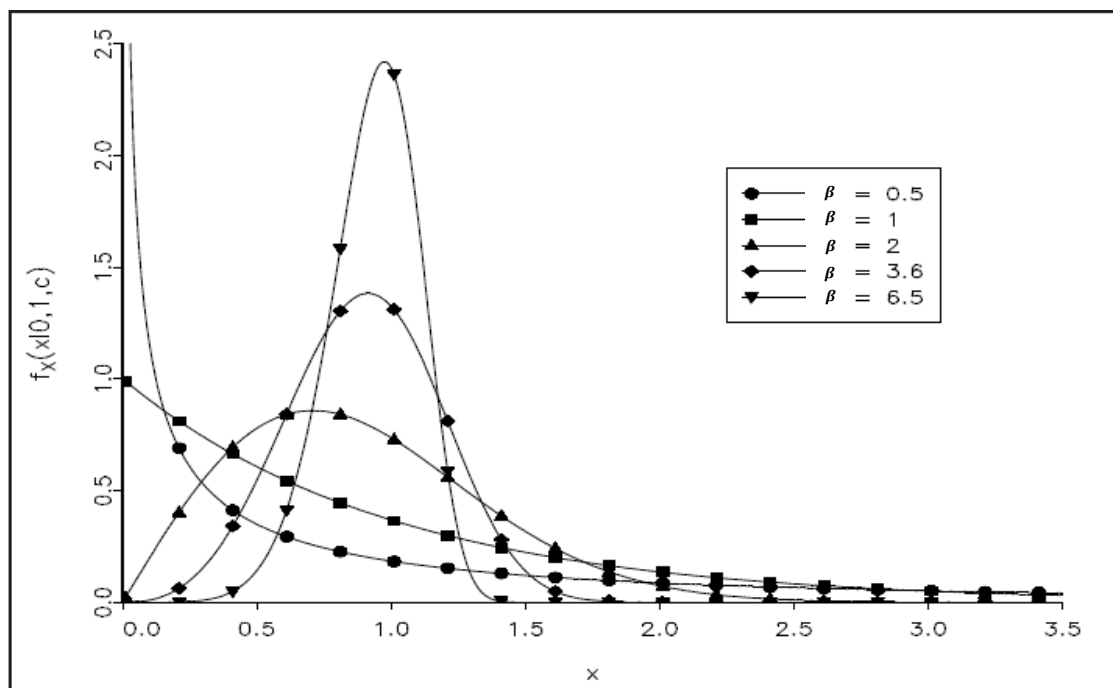
ANEXO I



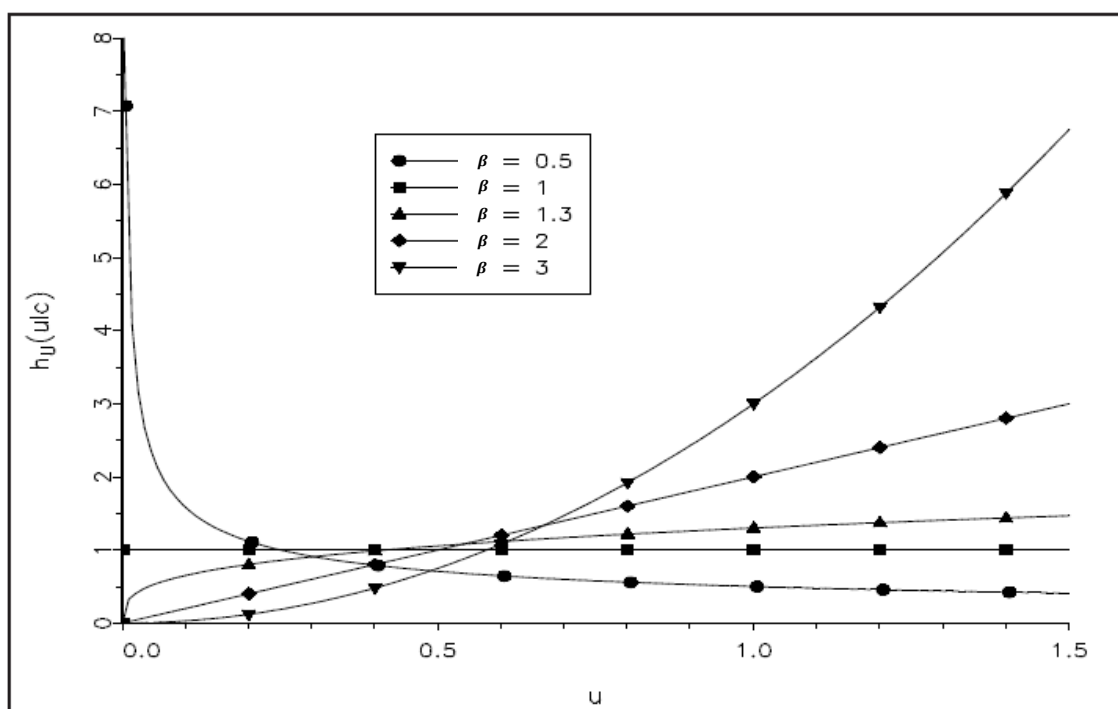
Anexo I.1 -Função densidade de probabilidade de Weibull com diferentes parâmetros de localização (Fonte: Rinne, 2009).



Anexo I.2 - Função densidade de probabilidade de Weibull com diferentes parâmetros de escala (Fonte: Rinne, 2009).



Anexo I.3 - Função densidade de probabilidade de Weibull com diferentes parâmetros de forma (Fonte: Rinne, 2009).

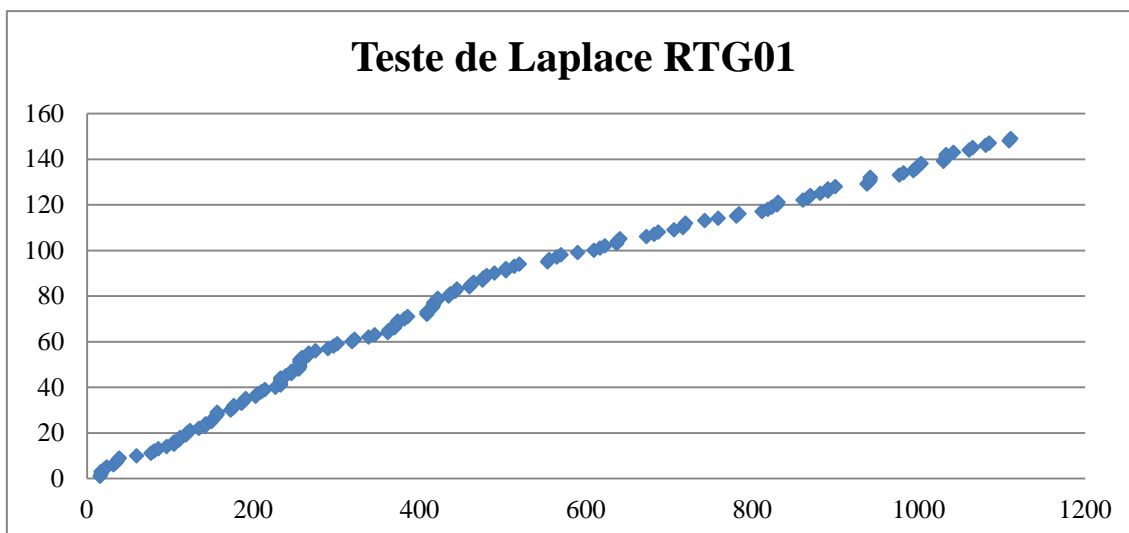


Anexo I.4 - Função de risco de Weibull com diferentes parâmetros de forma (Fonte: Rinne, 2009).

APÊNDICE I

Apêndice I.1 – Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace da RTG01.

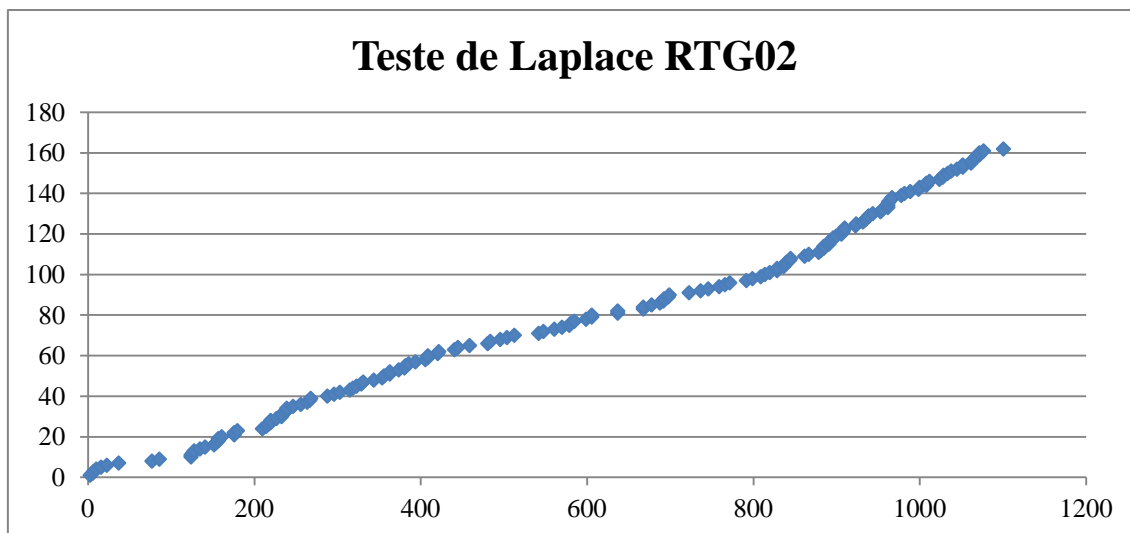
RTG01	
$\sum \tau_i$	70665
Duração do ensaio (dias)	1126
z_0	-3,33
n_f	149
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64



Apêndice I.2 - Teste de Laplace da RTG01.

Apêndice I.3 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace da RTG02.

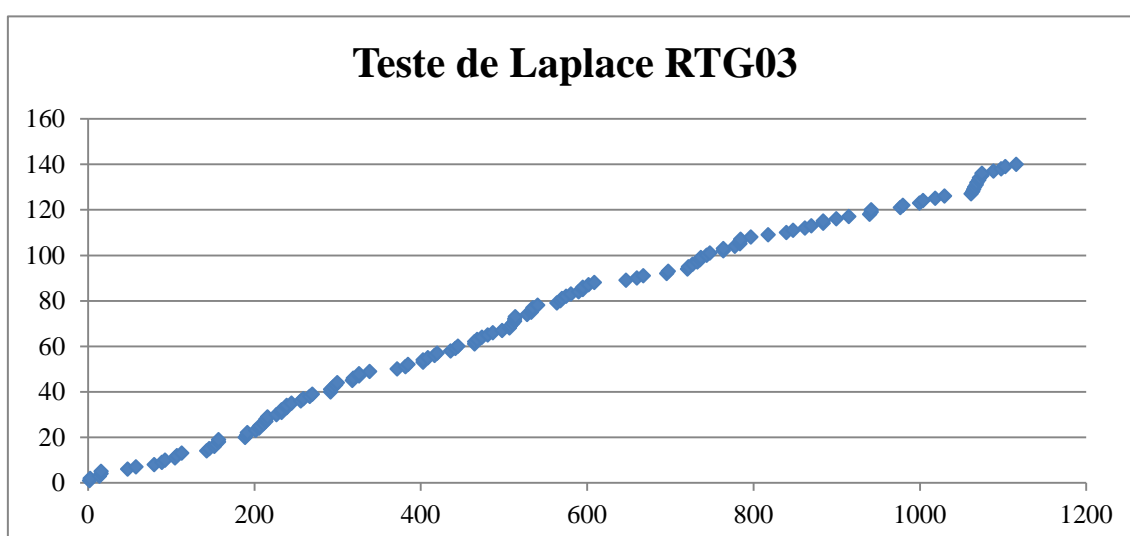
RTG02	
$\sum \tau_i$	97620
Duração do ensaio (dias)	1126
z_0	1,55
n_f	162
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64



Apêndice I.4- Teste de Laplace da RTG02.

Apêndice I.5 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace da RTG03.

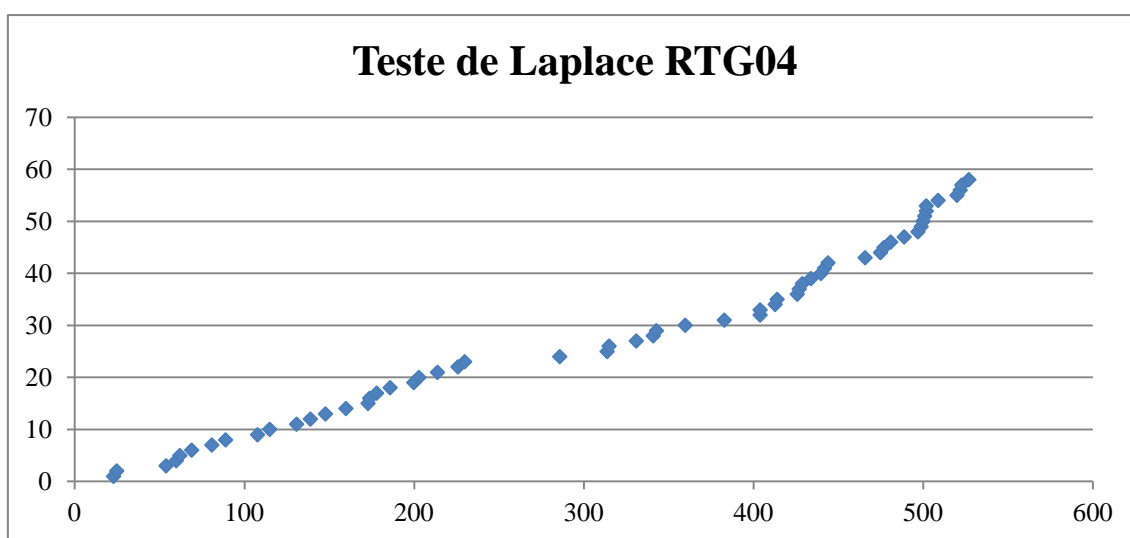
RTG03	
$\sum \tau_i$	75147
Duração do ensaio (dias)	1126
z_0	-0,96
n_f	140
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64



Apêndice I.6 - Teste de Laplace da RTG03.

Apêndice I.7 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace da RTG04.

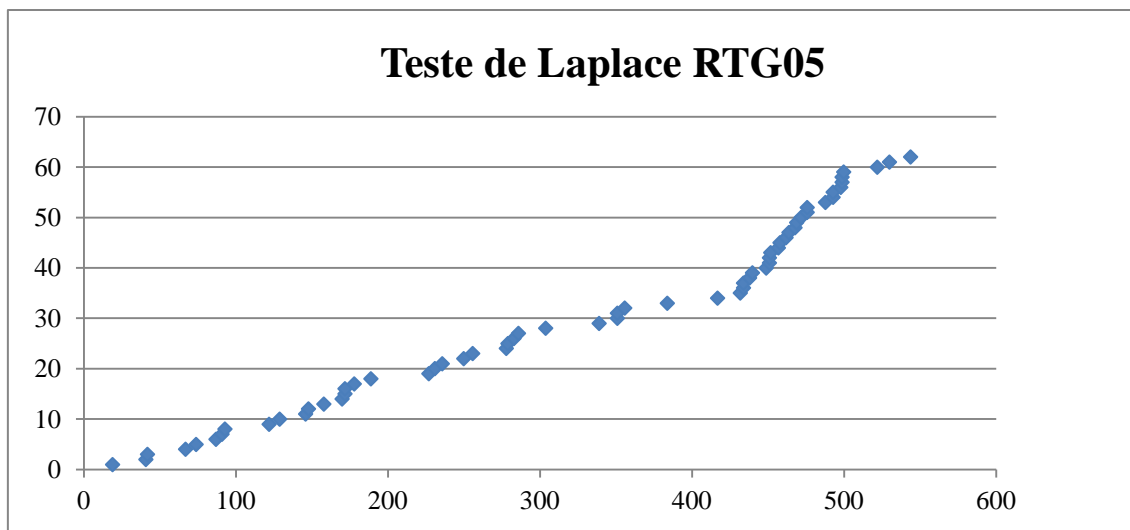
RTG04	
$\sum \tau_i$	18388
Duração do ensaio (dias)	548
z_0	2,07
n_r	58
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64



Apêndice I.8 - Teste de Laplace da RTG04.

Apêndice I.9 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace da RTG05.

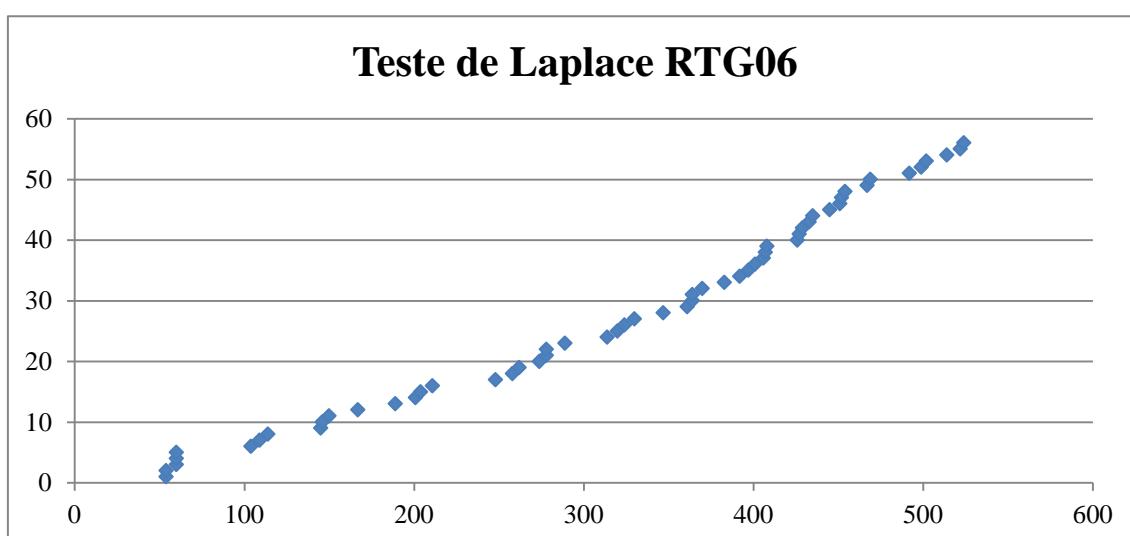
RTG05	
$\sum \tau_i$	20175
Duração do ensaio (dias)	548
z_0	2,56
n_r	62
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64



Apêndice I.10- Teste de Laplace da RTG05.

Apêndice I.11- Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace da RTG06.

RTG06	
$\sum \tau_i$	17744
Duração do ensaio (dias)	548
z_0	2,03
n_f	56
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64



Apêndice I.12 - Teste de Laplace da RTG06.

APÊNDICE II

Apêndice II.1 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace do sistema Cabine das RTG da marca A.

Cabine – marca A	
$\sum \tau_i$	42799
Duração do ensaio (dias)	1126
z_0	-0,58
n_f	79
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64

Apêndice II.2 -Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace do sistema Gantry das RTG da marca A.

Gantry – marca A	
$\sum \tau_i$	48303
Duração do ensaio (dias)	1126
z_0	-1,64
n_f	95
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64

Apêndice II.3 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace do sistema Gantry das RTG da marca B.

Gantry – marca B	
$\sum \tau_i$	11058
Duração do ensaio (dias)	548
z_0	2,22
n_f	33
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64

Apêndice II.4 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace do sistema Carro de Trolley das RTG da marca A.

Carro de Trolley – marca A	
$\sum \tau_i$	47623
Duração do ensaio (dias)	1126
z_0	1,09
n_f	79
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64

Apêndice II.5 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace do sistema Carro de Trolley das RTG da marca B.

Carro de Trolley – marca B	
$\sum \tau_i$	19301
Duração do ensaio (dias)	548
z_0	1,86
n_f	62
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64

Apêndice II.6 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace do sistema Grupo Gerador das RTG da marca A.

Grupo Gerador – marca A	
$\sum \tau_i$	71539
Duração do ensaio (dias)	1126
z_0	-1,75
n_f	139
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64

Apêndice II.7 - Parâmetros necessários para o cálculo do teste de Laplace do sistema Grupo Gerador das RTG da marca B.

Grupo Gerador – marca B	
$\sum \tau_i$	12632
Duração do ensaio (dias)	548
z_0	2,28
n_f	38
$\alpha/2$	0,05
Z	1,64

APÊNDICE III

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A - CABINE

Dados																
Horas de Funcionamento	<input type="text"/>	Início da Revisão	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data</th> <th>Hora</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>/ /</td> <td>:</td> </tr> <tr> <td>/ /</td> <td>:</td> </tr> </tbody> </table>	Data	Hora	/ /	:	/ /	:							
Data	Hora															
/ /	:															
/ /	:															
		Fim da Revisão														
Preparação																
Lubrificantes:	Aplicação:	Quant.	Documentos:	Última Revisão:												
			Manual de Manutenção	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Das</th> <th>horas</th> </tr> <tr> <th>Data</th> <th>/</th> <th>/</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H. Funcion.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T. de Execução</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Das		horas	Data	/	/	H. Funcion.			T. de Execução		
Das		horas														
Data	/	/														
H. Funcion.																
T. de Execução																

[illegible]

Apêndice III.1 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Cabine para as RTG da
marca A.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A - CARRO DE TROLLEY - ACM

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Data

Hora

/	/	:
/	/	:

Fim da Revisão

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação: Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das

horas

Data

H. Funcion.

T. de Execução

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor (4)				
1.1		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar sobreaquecimento.			
1.3.		Verificar estado das ligações eléctricas.			
2.	Caixa redutora				
2.1.		Verificar existência de fugas.			
2.2.		Verificar nível de óleo.			
2.3.		Limpar respirador.			
2.4.		Verificar ruídos anormais.			
3.	Tambor				
3.1.		Verificar grampos e sulcos do cabo de aço.			
3.2.		Verificar existência de fissuras.			
3.3.		Verificar parafusos de fixação do motor.			
3.4		Verificar estado dos rolamentos.			
4.	Roldanas				
4.1.		Verificar condição de rotação.			
4.2.		Verificar fracturas, danos ou fissuras.			
4.3.		Verificar rolamentos.			
4.4.		Verificar desgaste.			

Apêndice III.2 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (ACM) para as RTG da marca A.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A - CARRO DE TROLLEY - ACM

Dados

Horas de Funcionamento	<input type="text"/>	Início da Revisão	Data / /	Hora :
		Fim da Revisão	/ /	:

Preparação

Lubrificantes:	Aplicação:	Quant.	Documentos:	Última Revisão:	Das	horas
			Manual de Manutenção		Data / /	
					H. Funcion.	
					T. de Execução	

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
5.	Cabos de aço				
5.1.		Medir desgaste.			
5.2.		Verificar arames ou tranças partidas.			
5.3.		Verificar torção ou corrosão.			
5.4.		Verificar dobras ou outras deformações.			
5.5.		Verificar afrouxamento da trança.			
5.6.		Verificar condição de fixação do final dos cabos de aço.			
6.	Roldanas				
6.1.		Verificar condição de rotação.			
6.2.		Verificar fracturas, danos ou fissuras.			
6.3.		Verificar rolamentos.			
6.4.		Verificar desgaste.			

Apêndice III.3 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (ACM) para as RTG da marca A.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA B - CARRO DE TROLLEY - ANTI-SWAY

Dados

Horas de Funcionamento	<input type="text"/>	Início da Revisão	Data / /	Hora :
		Fim da Revisão	/ /	:

Preparação

Lubrificantes:	Aplicação:	Quant.	Documentos:	Ultima Revisão:	Das	horas
			Manual de Manutenção		Data	/ /
					H. Funcion.	
					T. de Execução	

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor				
1.1		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar sobreaquecimento.			
1.3.		Verificar estado das ligações eléctricas.			
2.	Travão				
2.1.		Verificar base do travão.			
2.2.		Verificar desgaste nas pastilhas de travão.			
2.3.		Verificar desgaste nos veios e furos.			
2.4.		Afastamento entre disco de travão e pastilhas deve ser igual.			
2.5.		Verificar accionador hidráulico.			
2.6.		Verificar sensores indutivos.			
3.	Disco do Travão				
3.1.		Verificar corpo do disco de travão.			
3.2.		Verificar estado da superfície.			
3.3.		Verificar irregularidades na superfície do disco.			
3.4.		Medir desgaste do disco.			
4.	Caixa redutora				
4.1.		Verificar existência de fugas.			
4.2.		Verificar nível de óleo.			
4.3.		Limpar respirador.			
4.4.		Verificar ruídos anormais.			

Apêndice III.4 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Anti-sway) para as RTG da marca B.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA B - CARRO DE TROLLEY - ANTI-SWAY

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação: Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das horas

Data	/	/
H. Funcion.		
T. de Execução		

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
5.	Tambor				
5.1.		Verificar grampos e sulcos do cabo de aço.			
5.2.		Verificar existência de fissuras.			
5.3.		Verificar parafusos de fixação do motor.			
5.4.		Verificar estado dos rolamentos.			
6.	Cabos de aço				
6.1.		Medir desgaste.			
6.2.		Verificar arames ou tranças partidas.			
6.3.		Verificar torção ou corrosão.			
6.4.		Verificar dobras ou outras deformações.			
6.5.		Verificar afrouxamento da trança.			
6.6.		Verificar condição de fixação do final dos cabos de aço.			
7.	Fins de curso				
7.1.		Verificar porcas de fixação.			
7.2.		Verificar posicionamento.			
7.3.		Verificar hastes.			
7.4.		Verificar estado das ligações eléctricas.			

Apêndice III.5 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Anti-sway) para as RTG da marca B.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A - CARRO DE TROLLEY - HOIST

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data

Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das

horas

Data

H. Funcion.

T. de Execução

/	/

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor				
1.1.		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar sobreaquecimento.			
1.3.		Verificar estado das ligações eléctricas.			
2.	Caixa redutora				
2.1.		Verificar existência de fugas.			
2.2.		Verificar nível de óleo.			
2.3.		Limpar respirador.			
2.4.		Verificar ruídos anormais.			
3.	Tambor				
3.1.		Verificar grampos e sulcos do cabo de aço.			
3.2.		Verificar existência de fissuras.			
3.3.		Verificar parafusos de fixação do motor.			
3.4.		Verificar estado dos rolamentos.			
3.5.		Verificar roletes de protecção de sobreposição de cabos.			
4.	Roldanas				
4.1.		Verificar condição de rotação.			
4.2.		Verificar fracturas, danos ou fissuras.			
4.3.		Verificar rolamentos.			
4.4.		Verificar desgaste.			

Apêndice III.9 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Hoist) para as RTG da marca A.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A - CARRO DE TROLLEY - HOIST

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das horas

Data

H. Funcion.

T. de Execução

/	/

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
5.	Cabos de aço				
5.1.		Medir desgaste.			
5.2.		Verificar arames e/ou tranças partidas.			
5.3.		Verificar torção e/ou corrosão.			
5.4.		Verificar dobras ou outras deformações.			
5.5.		Verificar afrouxamento da trança.			
5.6.		Verificar condição de fixação do final dos cabos de aço.			
6.	Fins de curso				
6.1.		Verificar fixação.			
6.2.		Verificar posicionamento.			
6.3.		Verificar hastes.			
6.4.		Verificar ligações eléctricas.			
6.5.		Verificar sensor de emergência.			
7.	Verificar ligações eléctricas das loadcells.				
8.	Calibrar posição				

Apêndice III.10 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Hoist) para as RTG da marca A.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA B - CARRO DE TROLLEY - HOIST

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data

Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das

horas

Data

H. Funcion.

T. de Execução

/	/
/	/
/	/

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor				
1.1		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar aumento da temperatura ou sobreaquecimento.			
1.3.		Verificar estado das ligações eléctricas.			
2.	Travão				
2.1.		Verificar base do travão.			
2.2.		Medir pastilhas de travão.			
2.3.		Verificar desgaste nos veios e furos.			
2.4.		Afastamento entre disco de travão e pastilhas deve ser igual.			
2.5.		Verificar accionador hidráulico.			
2.6.		Verificar sensores indutivos.			
3.	Disco do Travão				
3.1.		Verificar corpo do disco de travão.			
3.2.		Verificar estado da superfície.			
3.3.		Medir irregularidades na superfície do disco.			
3.4.		Medir desgaste disco.			
4.	Caixa redutora				
4.1.		Verificar existência de fugas.			
4.2.		Verificar nível de óleo.			
4.3.		Limpar respirador.			
4.4.		Verificar ruídos anormais.			

Apêndice III.11 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Hoist) para as RTG da marca B.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA B - CARRO DE TROLLEY - HOIST

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das horas

Data	/	/
H. Funcion.		
T. de Execução		

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
5.	Tambor				
5.1.		Verificar grampos e sulcos do cabo de aço.			
5.2.		Verificar existência de fissuras.			
5.3.		Verificar parafusos de fixação do motor.			
5.4.		Verificar estado dos rolamentos.			
5.5.		Verificar roletes de protecção de sobreposição de cabos.			
6.	Cabos de aço				
6.1.		Medir desgaste.			
6.2.		Verificar arames e/ou tranças partidas.			
6.3.		Verificar torção e/ou corrosão.			
6.4.		Verificar dobras ou outras deformações.			
6.5.		Verificar afrouxamento da trança.			
6.6.		Verificar condição de fixação do final dos cabos de aço.			
7.	Roldanas				
7.1.		Verificar condição de rotação.			
7.2.		Verificar fracturas, danos ou fissuras.			
7.3.		Verificar rolamentos.			
7.4.		Verificar desgaste.			

Apêndice III.12 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Hoist) para as RTG da marca B.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A - CARRO DE TROLLEY - TROLLEY

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data

Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das

horas

Data

H. Funcion.

T. de Execução

/	/	:
/	/	:
/	/	:

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor				
1.1		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar sobreaquecimento.			
1.3.		Verificar estado das ligações eléctricas.			
2.	Caixa Redutora				
2.1.		Verificar existência de fugas.			
2.2.		Verificar nível de óleo.			
2.3.		Limpar respirador.			
2.4.		Verificar estado dos rolamentos.			
3.	Rodas				
3.1.		Verificar estado dos rolamentos.			
4.	Carril do Trolley				
4.1.		Verificar espaçamento entre os carris.			
4.2.		Verificar desgaste e afundamentos dos carris.			
4.3.		Verificar torções na vertical e na horizontal.			
4.4.		Verificar diferença de altura entre os dois carris.			
5.	Fins de curso e sensores de posição				
5.1.		Verificar fixação.			
5.2.		Verificar posicionamento.			
5.3.		Verificar estado das ligações eléctricas.			

Apêndice III.16 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Trolley) para as RTG da marca A.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA B - CARRO DE TROLLEY - TROLLEY

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data

Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das

horas

Data

H. Funcion.

T. de Execução

/	/

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor				
1.1		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar sobreaquecimento.			
1.3.		Verificar estado das ligações eléctricas.			
2.	Travão				
2.1.		Verificar base do travão.			
2.2.		Medir pastilhas de travão. Substituir se for < 3 mm.			
2.3.		Verificar desgaste nos veios e furos.			
2.4.		Afastamento entre disco de travão e pastilhas deve ser igual.			
2.5.		Verificar accionador hidráulico.			
2.6.		Verificar sensores indutivos.			
3.	Disco do Travão				
3.1.		Verificar corpo do disco de travão.			
3.2.		Verificar estado da superfície.			
3.3.		Medir irregularidades na superfície do disco. Não deve exceder 0.3 mm.			
3.4.		Medir desgaste disco. Substituir se > 30 % da espessura.			
4.	Caixa Redutora e Veios de Transmissão				
4.1.		Verificar existência de fugas.			
4.2.		Verificar nível de óleo.			
4.3.		Limpar respirador.			
4.4.		Verificar estado dos rolamentos.			
4.5.		Verificar cruzetas e veios de transmissão.			

Apêndice III.18 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Trolley) para as RTG da marca B.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA B - CARRO DE TROLLEY - TROLLEY

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Data	Hora
/ /	:
/ /	:

Fim da Revisão

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das

horas

Data
/ /
H. Função
T. de Execução

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
5.	Rodas e Roletes				
5.1.		Verificar parafusos dos roletes e de fixação.			
5.2.		Verificar estado dos rolamentos.			
5.3.		Verificar danos, desgaste ou fissuras nos roletes.			
6.	Carril do Trolley				
6.1.		Verificar espaçamento entre os carris. Deve ter 6900 mm.			
6.2.		Verificar desgaste e afundamentos dos carris.			
6.3.		Verificar torções na vertical e na horizontal.			
6.4.		Verificar diferença de altura entre os dois carris.			
6.5.		Verificar desalinhamentos das juntas.			
6.6.		Verificar amortecedores de fim de curso.			
7.	Fins de curso e sensores de posição				
7.1.		Verificar fixação.			
7.2.		Verificar posicionamento.			
7.3.		Verificar hastes.			
7.4.		Verificar estado das ligações eléctricas.			

Apêndice III.19 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Carro de Trolley (Trolley) para as RTG da marca B.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA A - GANTRY

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data

Hora

/	/	:
/	/	:

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Última Revisão:

Das

horas

Data	/	/
H. Funcion.		
T. de Execução		

Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor				
1.1.		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar sobreaquecimento.			
2.	Rodas				
2.1.		Verificar aperto das porcas.			
2.2.		Verificar pressão dos pneus.			
2.3.		Verificar superfície dos pneus.			
2.4.		Verificar estado dos rolamentos.			
3.	Travões				
3.1.		Verificar disco de travão.			
4.	Caixa redutora				
4.1.		Verificar existência de fugas.			
4.2.		Verificar nível de óleo.			
4.3.		Limpar respirador.			
5.	Eixos				
5.1.		Verificar existência de fugas.			
6.	Mecanismo de mudança de direcção				
6.1.		Verificar rolamentos e fins de curso dos locking pins.			
6.2.		Verificar aperto das fixações.			
6.3.		Verificar condição dos casquilhos.			
6.4.		Verificar ligações eléctricas.			

Apêndice III.21 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Gantry para as RTG da marca A.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

MANUTENÇÃO PREVENTIVA RTG MARCA B - GANTRY

Dados

Horas de Funcionamento

Início da Revisão

Fim da Revisão

Data Hora

/	/	:		:	
/	/	:		:	

Preparação

Lubrificantes:

Aplicação:

Quant.

Documentos:

Manual de Manutenção

Ultima Revisão:

Das horas

Data

H. Funcion.

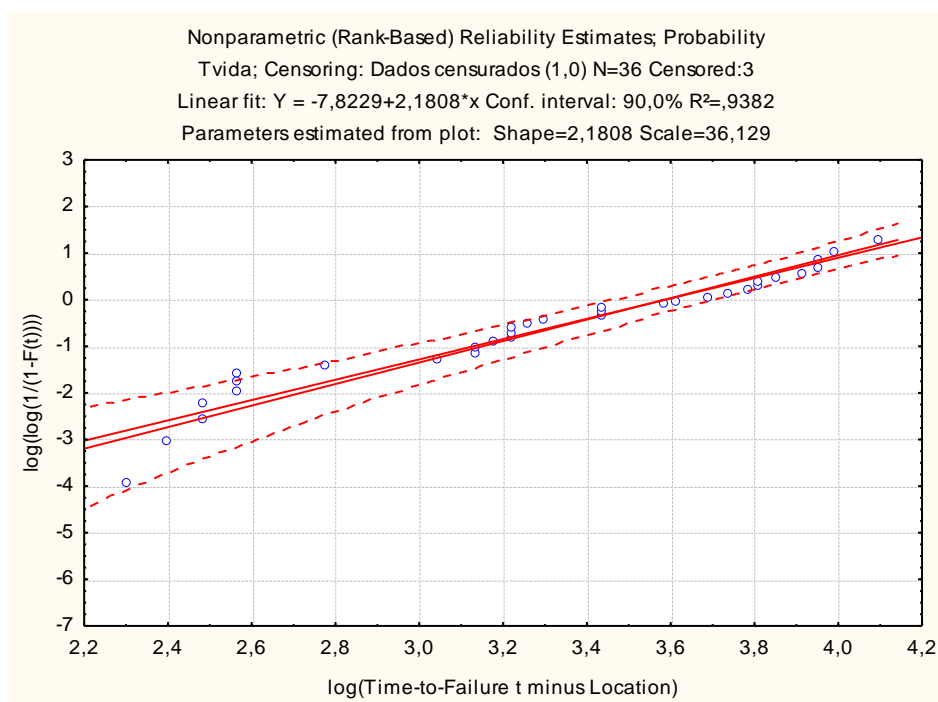
T. de Execução

/	/	:		:	

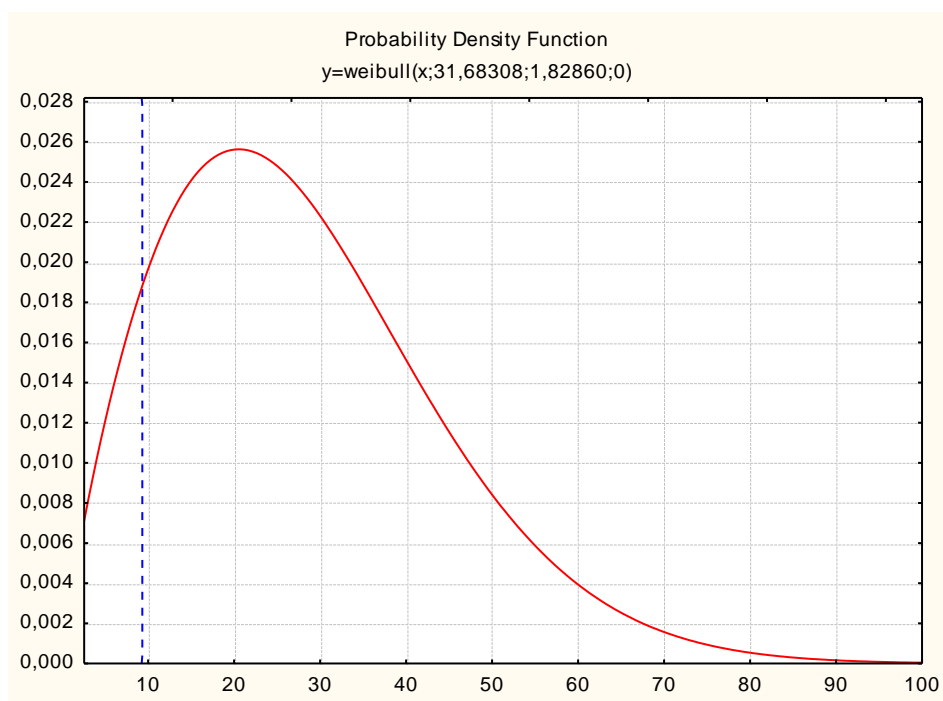
Cod.	Componente	Acção	Estado		Observações
			OK	Not OK	
1.	Motor				
1.1.		Verificar estado dos rolamentos.			
1.2.		Verificar aumentos de temperatura ou sobreaquecimento.			
1.3.		Verificar ligações eléctricas.			
2.	Rodas				
2.1.		Verificar aperto das porcas.			
2.2.		Verificar pressão dos pneus. Deve estar a 10 bar.			
2.3.		Verificar superfície dos pneus.			
2.4.		Verificar estado dos rolamentos.			
3.	Travões				
3.1.		Verificar disco de travão.			
4.	Caixa redutora				
4.1.		Verificar existência de fugas.			
4.2.		Verificar nível de óleo.			
4.3.		Limpar respirador.			
5.	Eixos e veios de transmissão				
5.1.		Verificar existência de fugas.			
5.2.		Verificar apertos nas fixações.			
5.3.		Verificar cardan.			

Apêndice III.23 - Gama de Trabalho de Manutenção Preventiva para o sistema Gantry para as RTG da marca B.

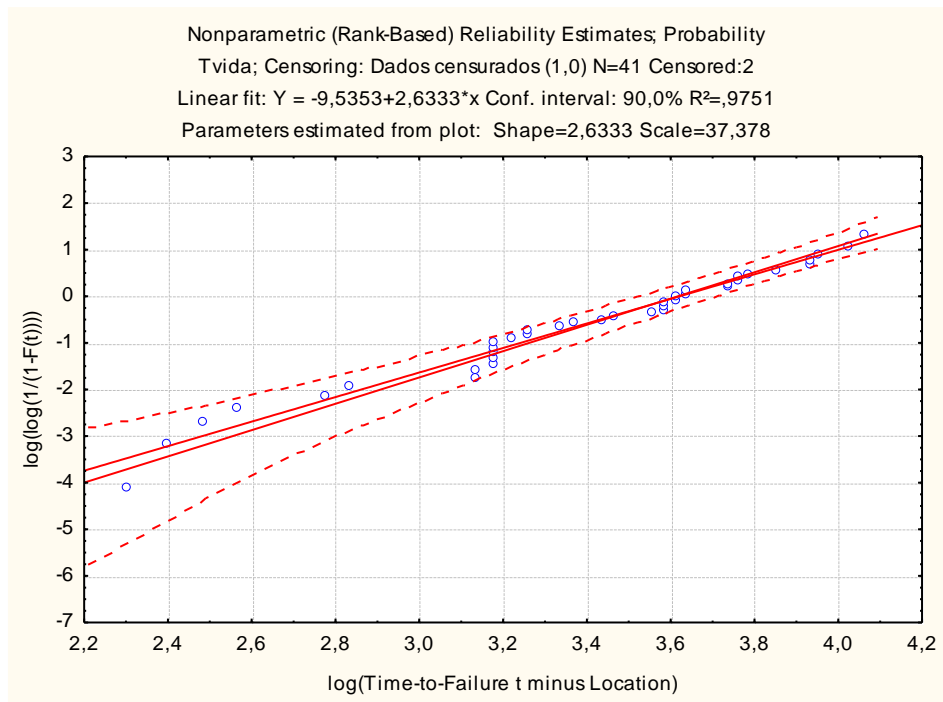
APÊNDICE IV



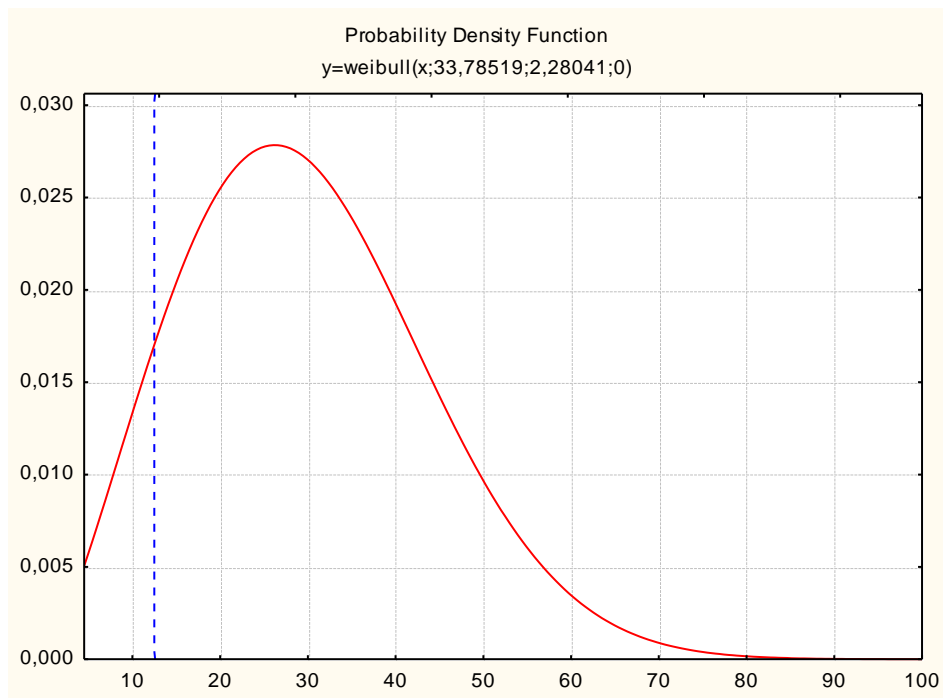
Apêndice IV.1 - Ajustamento, método não paramétrico – Carro de Trolley – marca B.



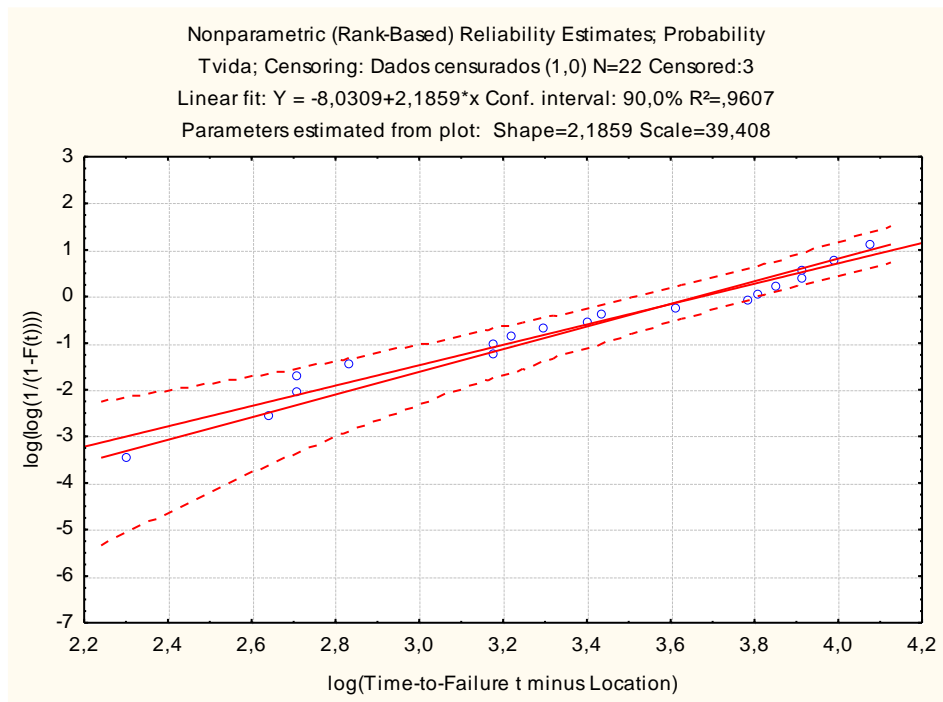
Apêndice IV.2 - Função densidade de probabilidade – Carro de Trolley – marca B.



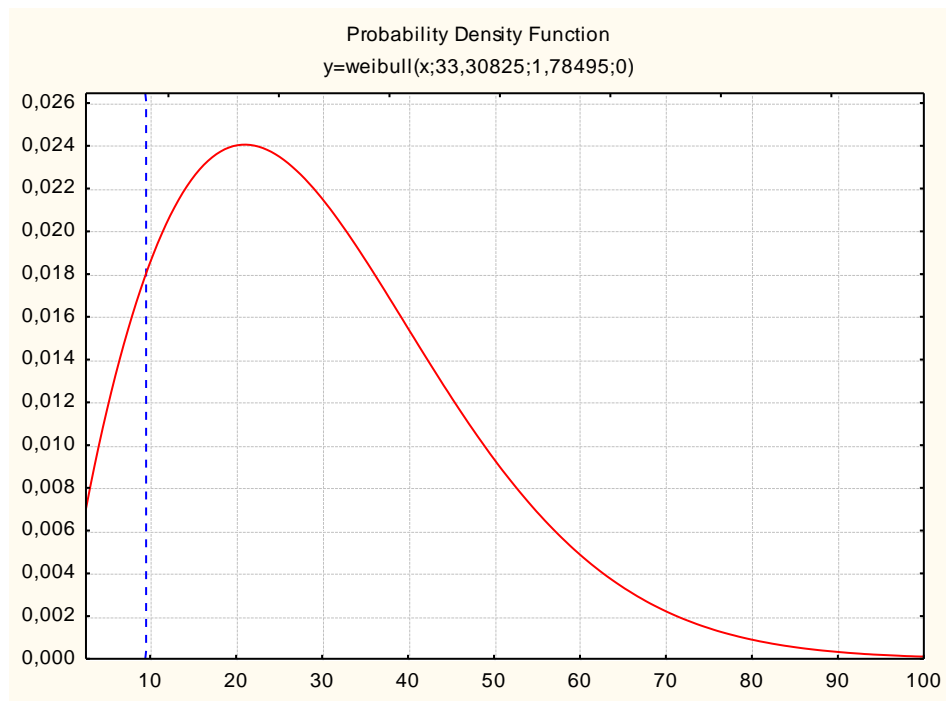
Apêndice IV.3 - Ajustamento, método não paramétrico – Carro de Trolley – marca A.



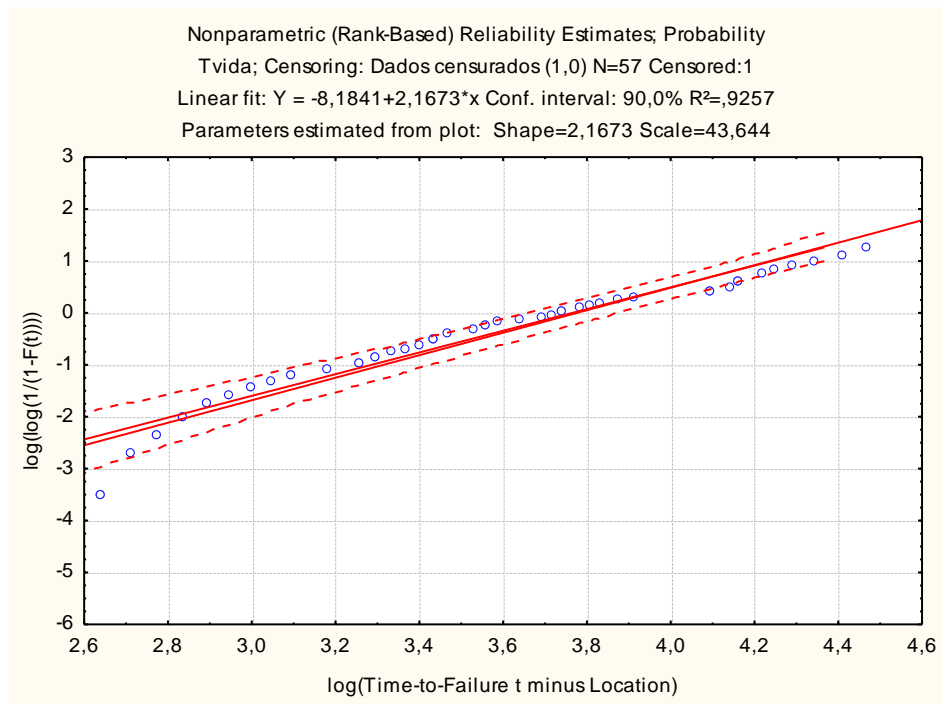
Apêndice IV.4 - Função densidade de probabilidade – Carro de Trolley – marca A.



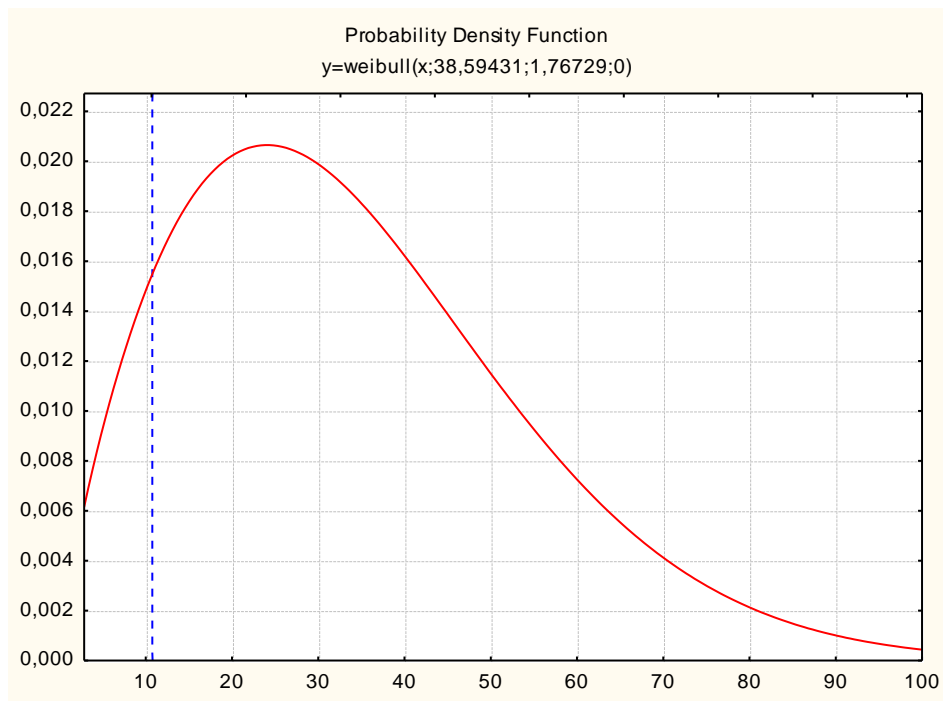
Apêndice IV.5 - Ajustamento, método não paramétrico – Gantry – marca B.



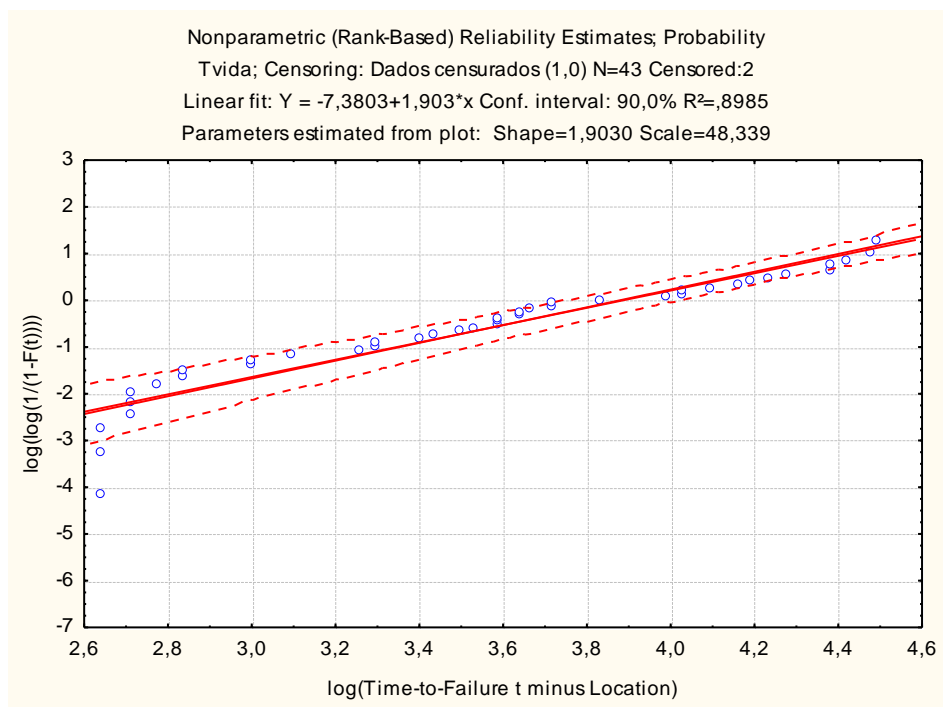
Apêndice IV.6 - Função densidade de probabilidade – Gantry – marca B.



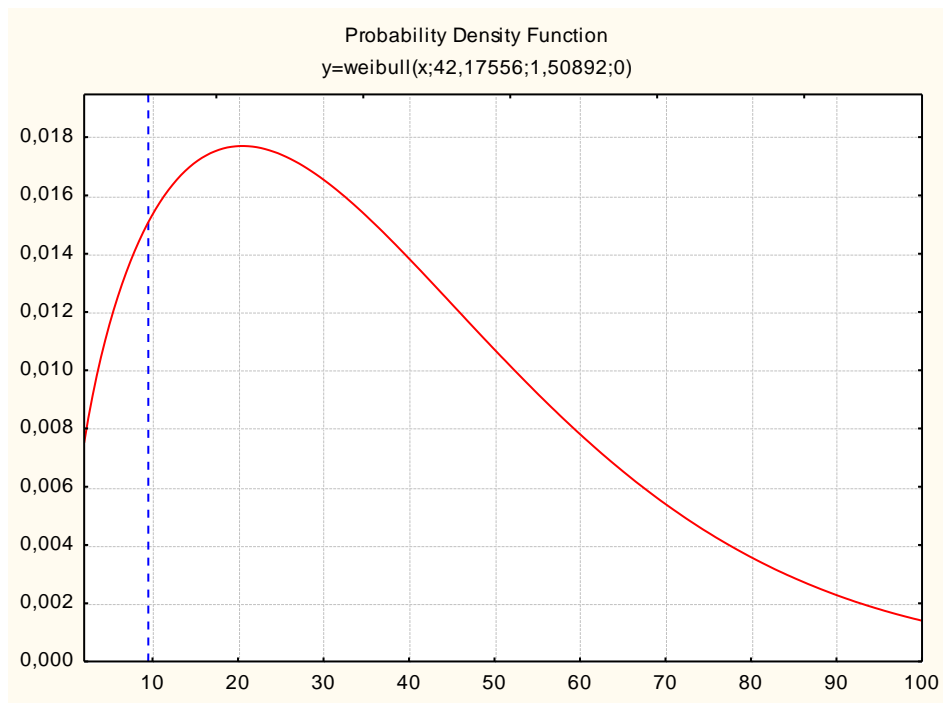
Apêndice IV.7 - Ajustamento, método não paramétrico – Gantry – marca A.



Apêndice IV.8 - Função densidade de probabilidade – Gantry – marca A.



Apêndice IV.9 - Ajustamento, método não paramétrico – Cabine – marca A.



Apêndice IV.10 - Função densidade de probabilidade – Cabine – marca A.